

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2010

Bc. František Zdráhal

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Využití bezdrátové technologie WIFI v průmyslových  
provozech**

**The use of wireless technology WIFI in industrial operations**

2010

Bc. František Zdráhal

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. František Zdráhal**  
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika  
Téma: **Využití bezdrátové technologie WIFI v průmyslových provozech**  
**The use of wireless technology WIFI in industrial operations**

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte mobilní systém s komerčně dostupných komponentů technologie WIFI pro její praktické ověření při přenosu dat v těžkých průmyslových provozech. Návrh musí obsahovat řešení jak technických, tak programových prostředků.
- 2: Navržený systém realizujte a proveďte provozní měření na pracovištích hlubinných dolů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Vlastní literární rešerše k řešené problematice.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Tesař**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

### **Čestné prohlášení**

Podepsaný František Zdráhal tímto čestně prohlašuje, že svou diplomovou práci vypracoval samostatně na základě odborných konzultací, s využitím uvedené literatury a poznatků získaných v průběhu magisterského studia.

V Přerově dne 7.5.2010

.....

Podpis

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Zdeňku Tesařovi za odborné rady a věcné připomínky v průběhu mé práce.

Velký dík patří i mé rodině za podporu při studiu a psaní diplomové práce.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá možností využití bezdrátových technologií standardu 802.11 Wi-Fi v těžkých průmyslových provozech. Cílem této práce je ověření této technologie přímo na pracovišti hlubinných dolů a stanovit, jestli je možné takto provádět řízení strojů a sběr dat z provozu. Úloha bude řešena na navržené síti pomocí osobních počítačů a hardwaru firmy MikroTik. Budu zjišťovány parametry přenosu, které mají vliv na kvalitu spojení. Především se bude jednat o hodnoty zpoždění, ztrátovost, odstup signálu od šumu SNR a dále hodnoty Rx/Tx CCQ, signal strength.

## **Klíčová slova**

WiFi, SNR, zpoždění, ztrátovost, průmyslové provozy, měření

## **Abstrakt**

This dissertation examines the possibility of using the wireless 802.11 (Wi-Fi) technology in heavy industry. The aim of this work is to test this technology directly inside underground mines and decide whether it is possible to use it for operating the machinery and collecting operational data. Task will be solved on designed network using personal computers and hardware by MikroTik. Parameters that affect transfer quality, especially Bit Error Rate, delay of packets in the network, Signal/Noise ratio, TX level and Rx/Tx CCQ, will be measured during testing.

## **Key words:**

WIFI, SNR, packet delay and packet loss, industrial service , measurment

## Obsah

<b>Seznam obrázků a tabulek.....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>1. WiFi.....</b>	<b>12</b>
1.1 Úvod do technologie 802.11.....	12
1.2. Historie technologie 802.11.....	12
1.3. Přehled standardu 802.11.....	12
1.4 Komponenty sítě 802.11.....	15
1.4.1 Ad-hoc sítě.....	16
1.4.2 Infrastrukturní sítě.....	17
1.5. OSI model.....	18
1.6 Fyzická vrstva.....	19
1.6.1 Rozprostřené spektrum.....	19
1.6.2 Dostupné radiové frekvence.....	20
1.7 Spojová vrstva.....	20
1.7.1 Koordinace přístupu k médiu.....	21
1.7.2 Formát MAC rámce.....	21
1.8. Zabezpečení WiFi.....	21
1.8.1 Autentizace.....	22
1.8.2 Šifrování .....	22
<b>2. Hardware.....</b>	<b>22</b>
2.1 Přístupový bod.....	23
2.2 Síťové mosty.....	23
2.3 Širokopásmové směrovače.....	23

<b>3. Antény</b>	24
3.1 Základní rozdělení	24
3.2 Hlavní parametry antén	24
<b>4. Návrh měřicí sítě</b>	25
4.1 Topologie sítě	25
4.2 Subnetting pro navrženou síť	26
4.3 Hardware navržené sítě	27
4.3.1 RouterBoard 411	28
4.3.2 Antény	30
4.3.3 Osobní počítač	34
4.4 Software	34
4.4.1 Winbox	34
<b>5. Vlastní měření</b>	36
5.1 Návrh měření	37
5.2 Popis měřených hodnot	37
5.3 Teoretický výpočet měřicí sítě	40
5.4 Popis měřených prostorů	44
5.5 Naměřené hodnoty	47
<b>6. Simulace</b>	50
6.1 Popis programu	50
6.2 Vlastní simulace	51
<b>7. Závěr</b>	53
<b>Použitá literatura</b>	57
<b>Přílohy</b>	



## **Seznam obrázků a tabulek**

**Obr. 1 Komponenty sítě 802.11**

**Obr. 2 Ad-hoc síť**

**Obr. 3 Infrastrukturní síť**

**Obr. 4 RM OSI [2]**

**Obr. 5 Vyzařovací charakteristika [4]**

**Obr. 6 Obecný návrh měřicího systému**

**Obr. 7 Subnetting navržené sítě**

**Obr. 8 RouterBoard 411/411 [5]**

**Obr. 9 WLAN 802.11a/b/g mini-PCI Module [6]**

**Obr. 10 Blokové schéma RouterBoard 411 [5]**

**Obr. 11 Specifikace desky RouterBoard 411 [5]**

**Obr. 12 Anténa D-link ANT24-0800 [7]**

**Obr. 13 Vyzařovací charakteristiky [7]**

**Obr. 14 Anténa Yagi XP 16dB [8]**

**Obr. 15 Vyzařovací charakteristiky [8]**

**Obr. 16 Anténa Panel 5 GHz Interline 19 dBi [9]**

**Obr. 17 Vyzařovací charakteristiky [9]**

**Obr. 18 Přihlašovací okno WinBox**

**Obr. 19 Hlavní okno WinBox**

**Obr. 20 Měřicí pracoviště**

**Obr. 21 WinBox měřené údaje**

**Obr. 22 Ping měřené údaje**

**Obr. 23 Maximální vysílací výkony dle ČTÚ [10]**

**Obr. 24** Citlivost karty WLAN 802.11a/b/g mini-PCI Module [6]

**Obr. 25** Provoz *vodní prádlo*

**Obr. 26** Provoz *odkamenění*

**Obr. 27** Náskres - provoz *vodní prádlo*

**Obr. 28** Náskres - provoz *odkamenění*

**Obr. 29** Graf- SNR *odkamenění*

**Obr. 30** Graf- CCQ Tx *odkamenění*

**Obr. 31** Graf- Zpoždění *odkamenění*

**Obr. 32** Graf - SNR *vodní prádlo*

**Obr. 33** Graf – CCQ Tx *vodní prádlo*

**Obr. 34** Graf - Zpoždění *vodní prádlo*

**Obr. 35** Program Iprop

**Obr. 36** Výstup Iprop *vodní prádlo*

**Obr. 37** Graf Iprop *vodní prádlo*

**Obr. 38** Výstup Iprop *odkamenění*

**Obr. 39** Graf Iprop *odkamenění*

**Obr. 40** Graf kvalita signálu pro provoz *vodní prádlo*

**Obr. 41** Graf kvalita signálu pro provoz *odkamenění*

## Úvod

V dnešní době se v různých průmyslových provozech začíná používat spousta strojů, které mají v sobě integrováno nějaké komunikační rozhraní pro komunikaci s nadřazeným systémem. Tyto nadřazené systémy mohou být buď: řídicí, diagnostické, nebo sloužící pro sběr provozních dat. Zmiňované systémy využívají různá rozhraní a komunikační protokoly. Můžou to být jen rozhraní od konkrétního výrobce pro konkrétní technologii, nebo rozhraní definované na dnes běžně používaných standardech (USB, sériové). U většiny těchto řešení je hlavní nevýhodou nutnost budovat nové rozvody kabelů po dílnách popř. budovách. Právě proto se nabízí k využití některá z dnes běžně používaných bezdrátových technologií.

V rámci této diplomové práce jsem dostal za úkol ověřit, zda-li je možné postavit tuto technologii na dnes velmi hojně využívaném standardu 802.11 Wi-Fi. Bude zajímavé sledovat, jak se tato technologie, které se dnes běžně používá v domácnostech a firmách pro přístup na internet, bude chovat v náročných průmyslových podmínkách. Další důležitou částí práce bude počítačová simulace navrženého systému a porovnání s reálnými hodnotami měření. Výsledkem práce bude stanovení, zda-li a za jakých podmínek je možné tuto technologii v těžkém průmyslu využívat.

## 1.Wi-Fi

### 1.1 Úvod do technologie 802.11

Wi-Fi je označení standardu 802.11 a výrobky označené tímto logem jsou plně kompatibilní s touto technologií a s jejími nástupci (802.11a, b, g) . Vlastníkem značky Wi-Fi je skupina *Wi-Fi Alliance* . Název Wi-Fi ( Wireless Fidelity) je odvozen od slova Hi-Fi ( High Fidelity). Původně byla tato technologie určena pro mobilní zařízení (PDA, mobilní telefony, notebooky), nicméně postupem času si našla cestu k masivnímu využití pro připojování počítačů do sítě internet. Další využití našla u VoIP telefonů. V dnešní době již začínají být vybaveny touto technologií zařízení spotřební elektroniky.

### 1.2. Historie technologie 802.11

Wi-Fi je bezdrátová technologie standardizovaná IEEE ( Institute for Electrical and Electronics Engineers ), která vydává závazné standarty. Vývoj této technologie započal již v roce 1985 přispěním amerického regulátora FCC ( Federal Communication Commision ), jenž uvolnil tři frekvenční pásma pro bezlicenční přenos. Jednalo se o tzv. bezlicenční pásmo ISM (Industrial Scientific and Medical). Nicméně bylo nařízeno několik podmínek, které tento provoz upravovaly. Jednalo se hlavně o omezení výkonu a použití širokopásmových řešení, fungujících na principu rozprostřeného frekvenčního spektra. Evropský regulátor se nazývá ETSI (European Telecommunications Standards Institute), kterého je Česká republika členem.

### 1.3. Přehled standardu 802.11

Wi-Fi je dle standardů IEEE 802.11 děleno na mnoho skupin. Poslední znak v názvu udává o jaký standard se jedná. V České republice jsou rozšířené standardy 802.11a, 802.11b a 802.11g. Všechna zařízení připojená do stejné Wi-Fi sítě musí pracovat na stejném standardu nebo standardu s ním kompatibilním.

Prvním standardem vyvinutým společností IEEE byl 802.11. Bylo to v roce 1997 a poskytoval přenosovou rychlost 1 až 2 MB . Postupem času vznikaly následující standardy [1] :

### **IEEE 802.11a**

IEEE 802.11a standard využívá Wi-Fi v pásmu 5 Ghz. Používá modulaci OFDM. Oproti standardu IEEE 802.11b/IEEE 802.11g je tento stabilnější a vyspělejší. Má větší povolený vyzařovací výkon oproti 802.11b/g, tím ho lze používat na delší vzdálenosti.

### **IEEE 802.11b**

IEEE 802.11b standard je jedním z doplňků norem IEEE 802.11 zabývajících se definicí bezdrátového komunikačního standardu známým pod komerčním názvem Wi-Fi. Byl schválen v roce 1999 a oproti původnímu standardu navyšuje přenosovou rychlost na 11 Mbit/s v přenosovém pásmu 2,4 GHz.

### **IEEE 802.11c**

IEEE 802.11c je Wi-Fi standard věnující se přemostování v bezdrátových zařízeních. Jde o hotový standard doplňující standard IEEE 802.1D, který přidává požadavky na přemostování *Media Access Control* (MAC), což je podvrstva linkové vrstvy. Standard IEEE 802.1D upravuje základní LAN standard pro 802.11 rámce. Zejména dodává do klauzule *2.5 Support of the Internal Sublayer Service* podklauzuli, která pokrývá přemostovací operace v rámci 802.11 MAC podvrstvy.

### **IEEE 802.11d**

IEEE 802.11d je Wi-Fi standard často nazývaný také jako globální harmonizační standard. Je používán v zemích, kde nejsou povoleny systémy používající jiné dodatky ke standardu IEEE 802.11.

Definuje požadavky na fyzickou vrstvu k uspokojení regulačních domén nepokrytých existujícími standardy. Liší se v povolených frekvencích, vyzařovacích výkonech a propustnosti signálu. Specifikace eliminuje nutnost vývoje a výroby specifických produktů pro různé země.

Zapnutím podpory pro IEEE 802.11d v přístupovém bodě způsobí, že zařízení začne vysílat do celé sítě ISO kód země, ve které se nachází jako součást svých beacon paketů a požadavků na odpověď. Pokud je zapnut, klient přizpůsobí své frekvence, vyzařovací výkon a propustnost. Standard je tak vhodný pro systémy, které chtějí poskytovat globální roaming.

### **IEEE 802.11e.**

IEEE 802.11e je Wi-Fi doplněk standardu IEEE 802.11 vylepšující takzvanou *Media Access Control* (MAC) podvrstvu linkové vrstvy, rozšířením podpory kvality služeb (*Quality of Service*, QoS). Standard je důležitý pro aplikace citlivé na zpoždění jako jsou Voice over Wireless IP a proudová multimédia.

### **IEEE 802.11g**

IEEE 802.11g je standard rozšiřující IEEE 802.11b. Je zpětně kompatibilní, vysílá ve stejném frekvenčním pásmu 2400 - 2485 MHz, ale maximální nominální rychlost je 54 Mbit/s, což odpovídá přenosům přibližně o rychlosti 25 Mbit/s.

Použité modulační schéma je OFDM pro rychlosti 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 a 54 Mbit/s, přičemž pro rychlosti 1, 2, 5.5 a 11 Mbit/s je použito stejné schéma jako ve standardu IEEE 802.11b.

### **IEEE 802.11h**

IEEE 802.11h je Wi-Fi standard doplňující IEEE 802.11a, který je navržen s ohledem na evropské podmínky, aby bylo možné sítě využívat mimo budovy. Řeší například problémy s rušením od ostatních zařízení pracujících na 5 GHz frekvenci. Na tomto pásmu pracují například radary nebo některé satelitní systémy. V podstatě mají bezdrátová zařízení v případě, že detekovaly rušení, omezit vysílací výkon nebo uvolnit kanál, na kterém toto rušení rozpoznaly.

Tento standard upravuje fyzickou vrstvu a podčást linkové vrstvy, takzvanou *Media Access Control* (MAC) podvrstvu. Dynamickým výběrem kanálu přináší také lepší pokrytí jednotlivých kanálů.

## IEEE 802.11n

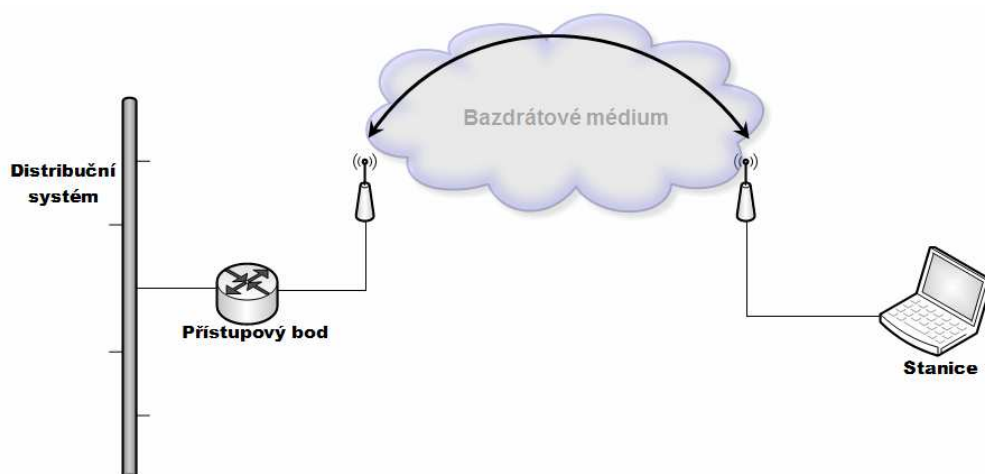
IEEE 802.11n je Wi-Fi standard, který si klade za cíl upravit fyzickou vrstvu a podčást linkové vrstvy, takzvanou *Media Access Control* (MAC) podvrstvu tak, aby se docílilo reálných rychlostí přes 100 Mbit/s. Maximální fyzická (L1) rychlost může být až 600 Mbit/s při MAC (L2) rychlosti až 400 Mbit, to v konfiguraci 4X4 MIMO. V roce 2008 se masověji prodávají zařízení 802.11n Draft 2.0, typicky s konfigurací 2X2 nebo max. 3X3 MIMO. Reálná přenosová rychlost (L4) zatím do 200 Mbit/s...

Zvýšení rychlosti se dosahuje použitím MIMO (multiple input multiple output) technologie, která využívá vícero vysílacích a přijímacích antén.

### 1.4 Komponenty sítě 802.11

Všechny sítě standardu 80.11 obsahují velké množství různých komponent. Hlavní komponenty jsou však pouze čtyři. Jsou to:

- a) Distribuční systém
- b) Přístupový bod
- c) Bezdrátové médium
- d) Stanice



Obr. 1 Komponenty sítě 802.11

#### **a) Distribuční systém**

Distribuční systém slouží k připojení více přístupových bodů a zajišťuje jejich vzájemnou komunikaci. Dokáže přesměrovat datový tok ke konkrétní stanici. Velmi často je použité řešení, kde se využívá síťového mostu a distribučního média. Distribučním médiem se rozumí vesměs páteřní síť *Ethernet*.

#### **b) Přístupový bod**

Jde o část sítě, která představuje přemostění mezi kabelovou sítí a bezdrátovou sítí. Mimo již zmiňované přemostění umožňuje uživateli i obrovské množství funkcí, které závisí na výrobci zařízení.

#### **c) Bezdrátové médium**

Jedná se o nosné medium pro data, obdobně jako u kabelu ethernetu. V případě standardu 802.11 se za bezdrátové medium považují radiové frekvence 2,4 GHz a 5 GHz.

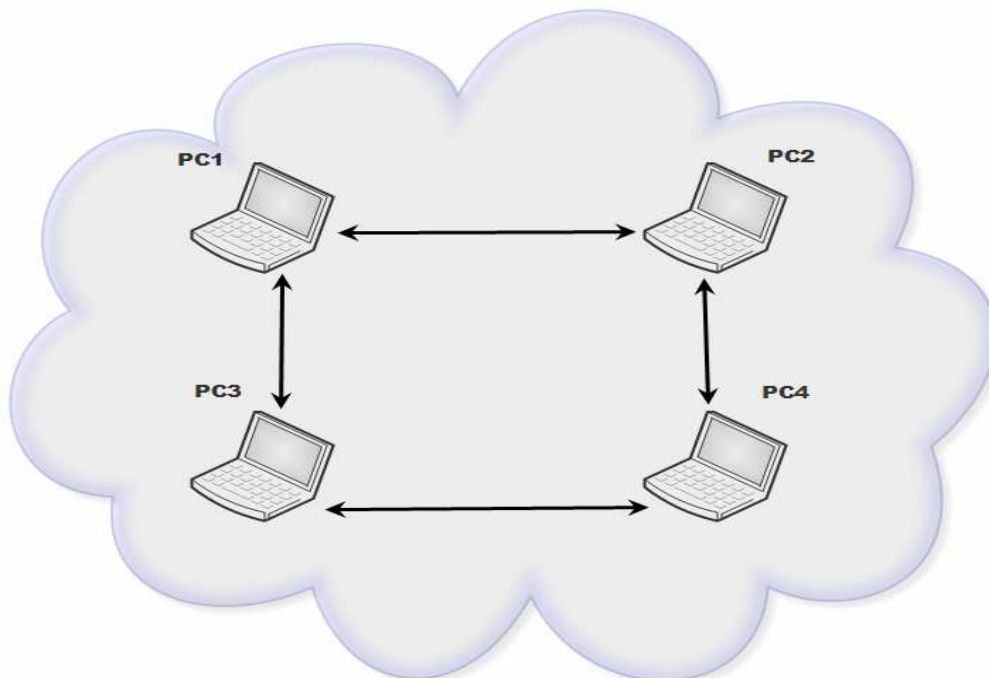
#### **d) Stanice**

Stanice může být jakékoliv zařízení vybavené rozhraním technologie 802.11. Např. o notebooky, PDA, osobní počítače, mobilní telefony atd..

##### **1.4.1 Ad-hoc síť**

Je to jedna ze dvou typů sítí, tzv. síť nezávislá. Jednotlivé stanice sdružené v takovéto síti komunikují mezi sebou dle potřeby a ke své komunikaci nepotřebují žádný nadřazený systém. Základním požadavkem při tomto zapojení je nutnost být ve vzájemném radiovém dosahu. Velmi časté využití je propojení několika počítačů z nějakého zvláštního důvodu na omezený čas (např. výměna dat). Díky nevelké rozlehlosti sítě, se síť tohoto typu výrazně nepreferuje. Na následujícím obrázku je schéma popisované sítě.

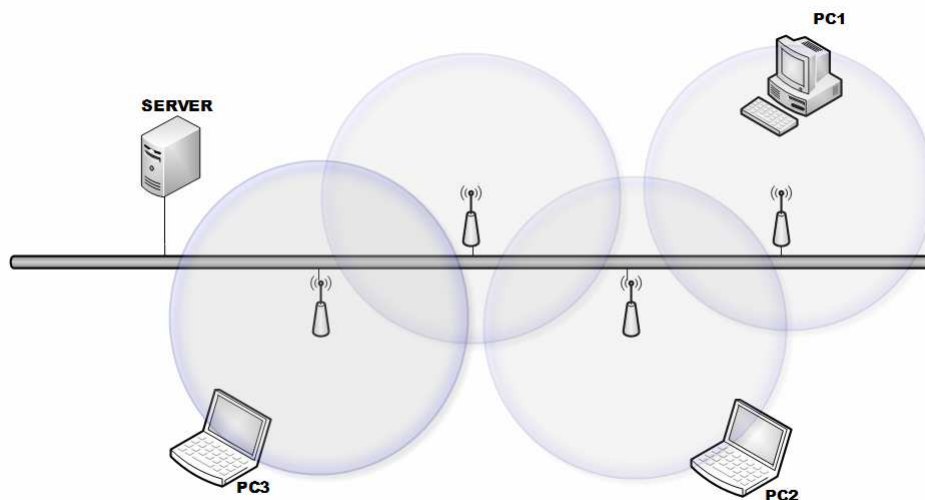




**Obr. 2 Ad-hoc síť**

#### 1.4.2 Infrastrukturní síť

Název infrastrukturní síť vyplývá z její vlastnosti, kterou je její přesné vymezení infrastruktury. Hlavním článkem tohoto systému je komponent s názvem přístupový bod. (Access point). Jedná se o rozhraní mezi bezdrátovou sítí a drátovou sítí. Přístupový bod má schopnost komunikace s více bezdrátovými stanicemi, které jsou v jeho dosahu. Data v infrastrukturní síti mezi dvěma počítači putují přes přístupový bod. Nikoliv jako u Ad-hoc sítě napřímo. V infrastrukturní síti může tedy fungovat každá stanice, jenž je schopná komunikovat s přístupovým bodem a nachází se v dosahu jeho radiového signálu. Na následujícím obrázku je schéma infrastrukturní sítě.



**Obr. 3 Infrastrukturní síť**

#### 1.4. OSI model

RM OSI je soubor norem, které jsou zapotřebí pro výměnu informací mezi systémy, kde pod slovem systémy se rozumí seskupení počítačů, stejné programové vybavení, terminály, fyzické procesy atd.. Pro každý produkt pracující v počítačové síti je definována vrstva, ve které pracuje. V následující tabulce je popis celého modelu RM OSI.

Referenční model OSI	
vrstva 7	Aplikační vrstva (Application Layer A)
vrstva 6	Prezentační vrstva (Presentation Layer P)
vrstva 5	Relační vrstva (Session Layer S)
vrstva 4	Transportní vrstva (Transport Layer T)
vrstva 3	Síťová vrstva (Network Layer N)
vrstva 2	Spojová vrstva (Data Link Layer DL)
vrstva 1	Fyzická vrstva (Physical Layer Ph)
Fyzické přenosové médium (Physical Media)	

**Obr. 4 RM OSI [2]**

Standard 802.11 je definován pouze na dvou vrstvách RM OSI a to na fyzické a spojové vrstvě. Veškeré mé měření se tedy bude týkat pouze těchto dvou vrstev. V dalších podkapitolách následuje popis jejich hlavních parametrů.

## 1.6 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva slouží k přenosu jednotlivých bitů přes přenosové médium a dále zajišťuje aktivaci a deaktivaci přenosové cesty. V sítích 802.11 je tato část zodpovědná za přenos radiového signálu. V prvním vydání standardu 802.11 v roce 1997 byly standardizovány tři fyzické vrstvy [3] :

- ✓ Frequency-hopping (FH) spread-spectrum radio PHY
- ✓ Direct-sequence (DS) spread spectrum radio PHY
- ✓ Infračervené světlo (IR) PHY

V roce 1999 pak byly v rámci revize doplněny další dvě vrstvy a v roce 2003 byla vrstva OFDM použita pro další revizi standardu 802.11g [3] :

- ✓ 802.11a a 802.11g Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) PHY
- ✓ 802.11b High-Rate Direct Sequence (HR/DS nebo HR/DSS) PHY

### 1.6.1 Rozprostřené spektrum

Tato technologie se používá pro dosažení rychlých datových přenosů v bezlicenčním pásmu ISM. V tomto pásmu nelze použít jiný způsob přenosu. Je zde používáno matematické funkce pro rozptýlení síly signálu do širokého frekvenčního bloku. Používání této technologie nicméně nepřináší větší odolnost signálu proti rušení. Proto je předepsán maximální vyzářený výkon pro tyto systémy platnou legislativou.

Pro standard 802.11 jsou předepsány tři techniky rozprostřeného spektra [3]:

- ✓ Frekvenční proskoky (Frequency hopping FH, FHSS)
- ✓ Přímá sekvence (Direct Sequence DS, DSSS)
- ✓ Ortogonální frekvenční multiplex (Orthogonal Frequency Division Multiplex OFDM)

### 1.6.2 Dostupné radiové frekvence

Pro standardy 802.11b a 802.11g je vyhrazeno pásmo 2,4 GHz a pro standard 802.11a je vyhrazeno pásmo 5 GHz. Využívání technologie 802.11a je díky používanému pásmu 5 GHz v Evropě stále problematické. Na frekvenci 5,4 GHz totiž pracují i meteoradary. Zarušení může způsobit jakékoliv zařízení pracující v pásmu 5,4 GHz a může k němu dojít v případě použití stejného kmitočtu, na kterém radary vysílají a směrovosti spoje k ose radarů. Pásmo 2,4 GHz se tato problematika netýká. V České republice je k dispozici v pásmu 2,4 GHz 13 kanálů. Neznamena to však, že je k dispozici všech 13 frekvencí. Díky odstupu mezi kanály o velikosti 5 MHz se vysílání na jednom kanálu překrývá na sousedních 4 kanálech. Z toho vyplývá, že se dají současně využít jen 3 kanály.

### 1.7 Spojová vrstva

Jedná se o vrstvu pro zabezpečení přenášených dat proti chybám. Další důležitou funkcí této vrstvy je zabezpečení synchronizace mezi vysílačem a přijímačem protokolových datových prvků. Podvrstvou této vrstvy je tzv. MAC (ovládání přístupu k médiu). MAC slouží jako rozhraní mezi fyzickou vrstvou a hostitelským zařízením. MAC podvrstva má dvě důležité vlastnosti :

- ✓ CRC (Cyclic Redundancy Check)
- ✓ Fragmentace paketů

Každý paket je opatřen kontrolním součtem CRC. Pomocí toho je možné zjistit poškození paketu při přenosu a i možnost změny paketu při přenosu. Funkce fragmentace paketů rozděluje pakety do menších částí a tím usnadňuje jejich přenos sítí. U Wi-Fi je totiž oproti ethernetu mnohem vyšší možnost chyby během přenosu a tím nutnost posílat celý paket znova, což by znamenalo zbytečně vysoké zatěžování sítě.

### 1.7.1 Koordinace přístupu k médiu

U bezdrátových sítí je nutné pro jejich správnou funkci zajistit koordinovaný přístup k přenosovému médiu. To znamená, že by v jednom čase pracovala pouze jen jedna stanice a nedocházelo by ke kolizím s ostatními stanicemi. Pokud by tento mechanismus nefungoval, nebyl by provoz v síti možný. U standardu 802.11 existují dvě funkce, které tuto koordinaci zajišťují:

- ✓ Funkce distribuované koordinace DFC
- ✓ Funkce koordinace jedním bodem PCF

DFC je základem standardního přístupového mechanismu CSMA/CA a tato funkce je v sítích 802.11 hojně používána. Funkce PCF je vhodná pro aplikace blízké reálnému času.

### 1.7.2 Formát MAC rámce

Vzhledem k tomu, že se v předešlém textu již pojem rámec objevil a bude i součástí měření, je vhodné tento pojem vysvětlit. Rámec se sestává z *MAC hlavičky* (MAC header), která nese informace o přenášených datech a *těla rámce* (frame body) obsahujícího samotná přenášená data a CRC součet. MAC rámec obsahuje tyto pole:

- ✓ Frame Kontrol (FC) informace o verzi protokolu a typu rámce
- ✓ Duration/ID (ID)
- ✓ Address field 1-4 jsou čtyři adresní pole obsahující adresy zdroje, cíle, přenašeče a příjemce v závislosti na poli Frame Control
- ✓ Sequence Kontrol se používá pro defragmentaci a likvidaci duplikátních rámců

## 1.8. Zabezpečení Wi-Fi

Vzhledem k podstatě technologie 802.11, kdy nosným médiem datového provozu jsou rádiové vlny, by nebylo těžké bez zabezpečení komunikace se do takové sítě dostat a odposlouchávat provoz nebo pozměňovat data. Právě proto vznikly metody pro ochranu této sítě. Tyto principy můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin.

### 1.8.1 Autentizace

Autentizace je proces, při kterém se můžeme přihlásit do sítě. Klient posílá do přístupového bodu požadavek na autentizaci a ten mu odpovídá a posílá data nazpět. Pokud je klient v systému zakázán, tak je mu přístup odepřen. Takový přístup se používá například u bezplatných veřejných sítí a ne vždy se u něj používá šifrování dat, a proto není nijak zvlášť bezpečný. Zvýšení bezpečnosti se může zvýšit pomocí nástrojů popsaných dále.

### 1.8.2 Šifrování

V rámci přenosu dat sítí 802.11 je možné aktivovat šifrování provozu. Pro zašifrování dat se používají standardy, které jsou definované standardem IEEE. Jedná se o algoritmus WEP nebo WPA-TKIP.

U šifrování dat pomocí WEP se používá různě dlouhý šifrovací klíč. Pro každý paket vyslaný do sítě je sestaven inicializační vektor o délce 24bitů. Pak jsou data kódována pomocí kombinace šifrování RC4 a maticových operací. Hlavním problémem tohoto způsobu šifrování je využívání stejného klíče v celé síti. Pokud by se neoprávněná osoba dostala k tomuto klíči, tak by mohla odposlouchávat veškerý provoz v síti. Řešení této nedokonalosti je možné pomocí dynamické změny klíčů, kdy se v pravidelných intervalech šifrovací klíče mění. Tento mechanismus je implementován v algoritmu WPA. WPA je také vylepšen o řadu dalších funkcí. Jedná se především o rozšíření inicializační vektor, technikou Re-Keying a kontrolou integrity. A dále rozšíření o protokol TKIP, díky němuž je dosaženo vysoké bezpečnosti. U WPA-TKIP je používán šifrovací algoritmus AES, kdy šifrovací klíče můžou být delší a to až o 256 bitů. Zmiňovaný protokol TKIP je zodpovědný za zabezpečení šifrovacího klíče.

## 2. Hardware

Hardware je část sítě, bez které by nebylo možné fungovat. Hardwaru je velké množství druhů, funkcí a výrobců. Pro různé funkce v síti se hodí různý druh hardwaru. V následujících odstavcích popíšu ty nejzákladnější z nich.

## 2.1 Přístupový bod

Jedná se o zařízení, které zprostředkovává přechod mezi pevnou a bezdrátovou sítí. Zařízení obsahuje konektor pro připojení do sítě RJ-45, ke kterému se dá připojit například počítač, rozbočovač a jiné zařízení. Přístupový bod posílá veškerá data poslaná do pevné sítě také bezdrátově. Všechna připojená zařízení se dělí o celou šířku pásma. U přístupových bodů se neudává počet maximálně připojených klientů, protože to závisí na použitém zařízení. Přístupové body je obvykle nutné propojit se síťovými rozbočovači nebo přepínači. Samotné přístupové body mezi sebou komunikovat neumějí.

## 2.2 Síťové mosty

Je to část hardwaru, která je schopná propojit dvě sítě LAN. Zmiňované zařízení dokáže připojit pouze bezdrátové zařízení. Není schopné připojit jiný přístupový bod. Zařízení může fungovat v těchto režimech:

- ✓ Point to Point
- ✓ Point to Multipoint
- ✓ Bezdrátový opakovač (Repeater)
- ✓ Master plus AP

## 2.3 Širokopásmové směrovače (Routery)

Jedná se o zařízení, které je dnes velmi hojně používáno ve většině domácností a firem, kde je řešeno internetové připojení technologií Wi-Fi. Směrovač (router) má v sobě integrované vše, co je nutné pro stavbu sítě a je obvykle velmi dobře vyřešena i jeho konfigurace. Ta probíhá buď pomocí sériové linky, nebo dnes častější použití webového rozhraní. Směrovače jsou nejčastěji vybaveny těmito periferiemi:

- ✓ Rozhraní WAN - rozhraní pro připojení do internetu
- ✓ LAN konektory - připojení dalších počítačů
- ✓ DHCP server - automatická konfigurace připojených počítačů
- ✓ NAT a firewall - část starající se o bezpečnost sítě

### 3. Antény

Velmi důležitou částí všech systému 802.11 jsou antény. Protože se jedná o rádiovou technologii, je anténa naprostá nezbytnost pro bezchybnou funkci. Anténa je zařízení, na které se přivede vysokofrekvenční energie a ta je díky ní vyzářená do okolního prostoru, čímž vytvoří v prostoru vysokofrekvenční elektromagnetické pole.

#### 3.1 Základní rozdělení

Antén je velké množství druhů a výrobců. Nicméně se dají shrnout do následujícího základního rozdělení:

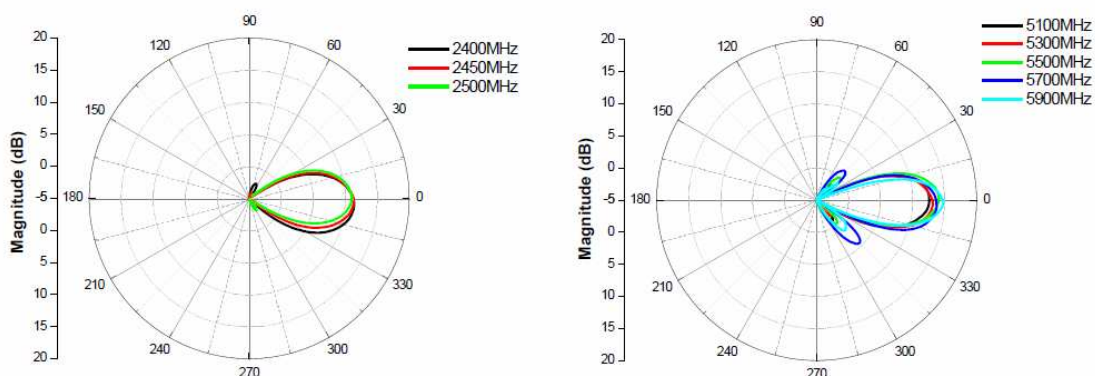
- ✓ Všesměrové antény - u těchto antén je signál šířen do všech směrů. Jejich úhel pokrytí je  $360^\circ$ .
- ✓ Sektorové antény - jedná se o antény, kde je vyzařovací úhel  $30^\circ$  až  $180^\circ$  a vykryvá se jimi větší souvislý prostor.
- ✓ Směrové antény – jde o typ antén, kde je vysílací výkon směřován do určitého konkrétního směru v předem definovaném vyzařovacím úhlu. Tyto antény se používají tam, kde je spojení na delší vzdálenosti, protože síla vyzářeného výkonu je soustředěná do jednoho bodu.

#### 3.2 Hlavní parametry antén

- ✓ Zisk (Gain) – zisk je jeden z hlavních parametrů antény. Udává nám, kolikrát větší výkon musíme dodat do půlvlnného dipólu, aby v místě příjmu byla stejná energie jako u směrové antény, jednotkou zisku je decibel (dB).
- ✓ Polarizace - při bezdrátovém přenosu se používají dva typy polarizace elektromagnetického vlnění, lineární a kruhová. Lineární polarizace se v praxi používá dvojí – horizontální a vertikální. Kruhová polarizace může být pravotočivá nebo levotočivá. Rovina polarizace vyzářeného vlnění je dána výhradně konstrukčním uspořádáním antény. Pokud je potřeba zajistit optimální provoz, musí být obě komunikující stanice vybaveny anténami se stejnou polarizací. Pokud není tento požadavek dodržen, tak bude docházet ke ztrátám v datovém provozu.



- ✓ Vyzařovací diagram – zachycuje charakteristiku šíření signálů do grafů. Díky tomu je možné efektivně budovat sítě a pro dané řešení vybrat vhodný typ antény. Vyzařovací grafy jsou součástí výrobní dokumentace antén. Na následujícím obrázku uvedu ukázkou charakteristiky antény *D-Link ANT40 1400N*.



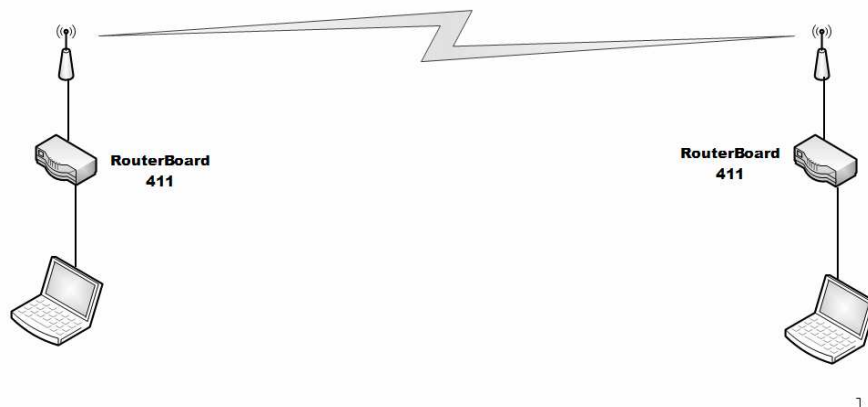
**Obr. 5 Vyzařovací charakteristika [4]**

### 3. Návrh měřicí sítě

Hlavním úkolem mé diplomové práce bylo nejen zjistit možnost využití Wi-Fi technologie v průmyslových provozech, ale také navrhnout vhodný hardware a postup měření. Jedná se o využití vhodných routerů umožňujících měření velkého množství parametrů na obou vrstvách RM OSI a dále výběr antén, softwaru a v neposlední řadě návrh celé sítě jako celku. Tímto se budu v následující části práce zabývat a pokusím se vysvětlit a popsat celý koncept mé práce. První popisovanou částí bude topologie sítě.

#### 4.1 Topologie sítě

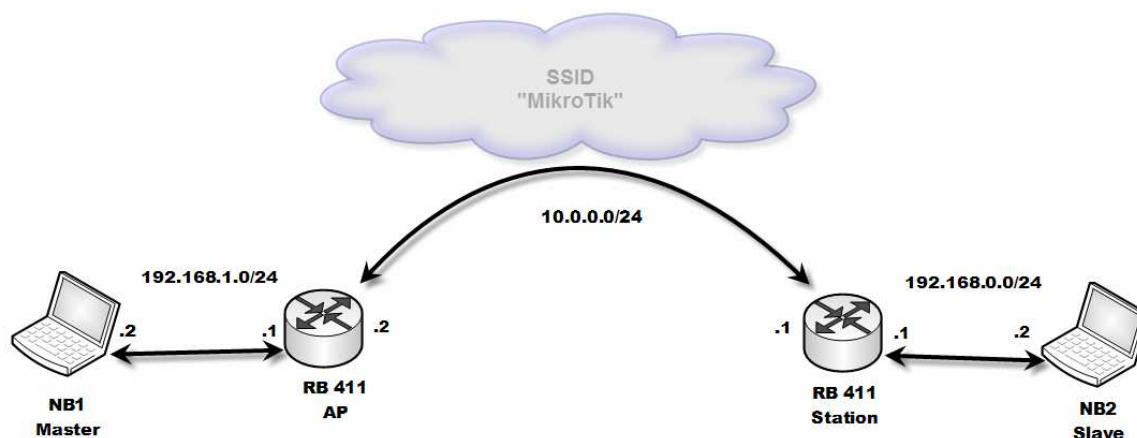
Jedná se pouze o obecný návrh měřicího systému, včetně všech jeho podsestav. Na obr. 6 je tento návrh nakreslen. V mé navržené síti je využito routerů firmy MikroTik, dále osobní počítače (notebooky), kde jeden je využit jako řídící (master) a druhý funguje jako servisní (slave). Celý systém může pracovat a měřit i s použitím jen jednoho počítače a to počítače master, na kterém běží obslužný program *WinBox*. Antény jsou zastoupeny směrovými a všesměrovými typy a to pro obě měřená frekvenční pásma.



**Obr. 6 Obecný návrh měřicího systému**

#### 4.2 Subnetting pro navrženou síť

Pro správnou funkci celého měřicího systému bylo nutné navrženou síť rozdělit a přidělit každému rozhraní zařízení vhodné IP adresy. Zvolil jsem si tři rozsahy IP adres. Navrženou síť mám rozdělenou na síť drátovou (*eth*) a bezdrátovou (*wlan*). Pro část *eth* mám použité rozsahy 192.168.1.0 a 192.168.0.0. Pro *wlan* část je použitý rozsah 10.0.0.0. Na *eth* rozhraní řídicího počítače (master) je přidělena IP adresa 192.168.1.0 a na *eth* rozhraní RB411 AP je IP adresa 192.168.1.1. Na *wlan* tohoto routeru je nastaveno 10.0.0.2 a *wlan* rozhraní RB411 Station je IP adresa 10.0.0.1. IP adresa *eth* rozhraní RB411 Station je IP adresa 192.168.0.1 a IP adresa na rozhraní *eth* počítače 2 (slave) je 192.168.0.2. Masky jsou nastaveny ve všech třech částech stejně a to 255.255.255.0. Výchozí brány jsou použity v první části 192.168.1.0, *wlan* část má 10.0.0.0 a třetí část má výchozí bránu 192.168.0.0. SSID *wlan* části je *MikroTik*. Celé zapojení je zobrazeno na obrázku 7.



**Obr.7 Subnetting navržené sítě**

#### 4.3 Hardware navržené sítě

Jedním z cílů diplomové práce bylo použít běžně dostupné komponenty. Bylo potřeba najít vhodné routery, které by byly nejen snadno konfigurovatelné, ale aby u nich byla možnost analyzovat datový provoz a snímat důležité veličiny vlastního přenosu. Tím odpadla možnost využít nejlevnější komponenty na trhu a výsledná volba padla na zařízení firmy MikroTik. To bude popsáno ve vlastní kapitole. Dále byly zvoleny tři druhy antén pro testování v dostupných pásmech. I použitým anténám bude věnována další kapitola. Poslední částí celého systému jsou osobní počítače. Vzhledem k požadované mobilitě měřicího systému bylo využito přenosných počítačů (notebooku). U nich vcelku nezáleží na typu, jen je nutné, aby měly integrovanou síťovou kartu. V následujících kapitolách bude rozebrán již zmiňovaný hardware.

#### 4.3.1 RouterBoard 411

Hlavním komponentem celého měřicího systému je router. Jak jsem již v textu zmínil, bylo použito zařízení firmy MikroTik RouterBoard 411/411R. Jedná se o běžně dostupný produkt, který má díky vlastnímu softwaru *WinBox* neuvěřitelné možnosti programování a analyzování provozu. Router RouterBoard 411/411R je vybaven čipovou sadou *atheros*, nicméně na samotné desce není obsažen žádný aktivní vysílací prvek. Na kartě se nachází slot pro mini PCI kartu, kterých je na trhu velká spousta pro různé standardy a frekvence. V routerech, které jsem dostal k dispozici, jsou osazeny karty *WNC Wistron NeWeb Corp. WLAN 802.11a/b/g mini-PCI Module*.

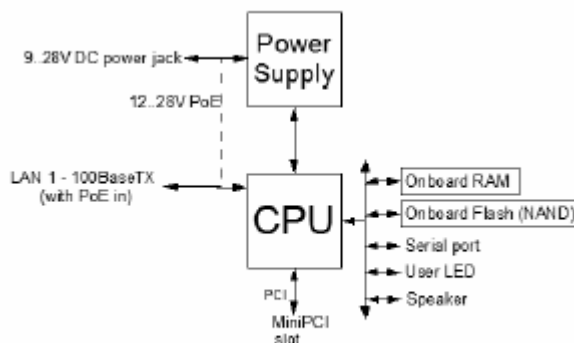


**Obr.8 RouterBoard 411/411R [5]**



**Obr.9 WLAN 802.11a/b/g mini-PCI Module [6]**

Na následujícím obrázku je uvedené vnitřní blokové schéma desky RouterBoard 411/411R.



Obr.10 Blokové schéma RouterBoard 411 [5]

	<b>RouterBOARD 411</b>
<b>CPU</b>	MIPS24k based, Atheros AR7130 300MHz CPU
<b>Memory</b>	32MB SDRAM onboard memory
<b>Boot loader</b>	RouterBOOT
<b>Data storage</b>	64MB onboard NAND memory chip
<b>Ethernet</b>	One 10/100 Mbit/s Fast Ethernet ports supporting Auto-MDI/X
<b>MiniPCI slot</b>	One MiniPCI Type IIIA/IIIB slot
<b>Serial port</b>	One DB9 RS232C asynchronous serial port
<b>LEDs</b>	Power and User LED, 5 status LEDs
<b>Speaker</b>	Mini PC-Speaker
<b>Power options</b>	Power over Ethernet: 12..28V DC (except power over datalines) Power jack: 9..28V DC
<b>Dimensions</b>	105mm x 105mm
<b>Weight</b>	115 g (4.06 oz)
<b>Temperature</b>	Operational: -20°C to +65°C (-4°F to 149°F)
<b>Humidity</b>	Operational: up to 70% relative humidity (non-condensing)
<b>Power consumption</b>	3-4W without extension cards, maximum - 14W

Obr.11 Specifikace desky RouterBoard 411 [5]

Díky mini PCI kartě, kterou je můj měřicí systém osazen, jsem schopen měřit ve všech frekvenčních pásmech. Karta pracuje se standardy 802.11 a/b/g s maximálním vysílacím výkonem 18 dBm

#### 4.3.2 Antény

Jak již z textu vyplynulo, jsou využity tři typy antén. Pro pásmo 2,4 GHz je využita směrová a všesměrová anténa a pro pásmo 5 GHz směrová anténa.

- ✓ D-link ANT24-0800 2,4 GHz jedná se o anténu doporučenou pro standardy 802.11b nebo 802.11g. Je to anténa, která je určena na použití ve venkovních prostorech.

Specifikace antény dle [7] :

Pásmo : 2,4 – 2,5 GHz

Gain (zisk) : 8 dBi

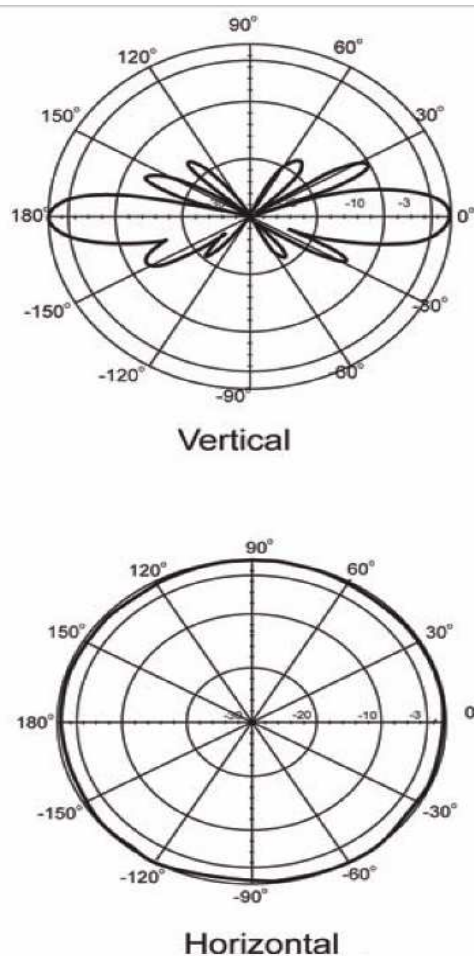
Polarizace : horizontální i vertikální

Vyzařovací úhly : horizontální 360° a vertikální 15°

Impedance : 50 ohmů



**Obr.12 Anténa D-link ANT24-0800 [7]**



**Obr.13 Vyzářovací charakteristiky [7]**

- ✓ Yagi XP 16dB 2,4 GHz tato anténa je navržena jako klientská anténa. Pracuje jak ve vodorovné, tak ve svislé polarizaci. Možnost změny polarizace umožňuje pootočení v úchytu.

Specifikace antény dle [8] :

Pásmo : 2,4 – 2,5 GHz

Gain (zisk) : 16 dBi

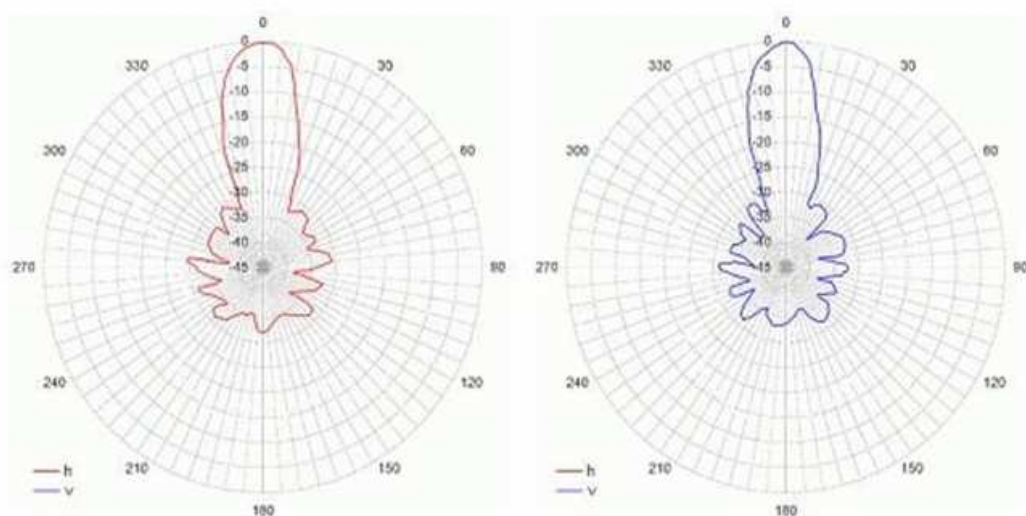
Polarizace : horizontální i vertikální

Vyzářovací úhly : horizontální 18° a vertikální 20°

Impedance : 50 ohmů



Obr.14 Anténa Yagi XP 16dBi [8]



Obr.15 Vyzařovací charakteristiky [8]



- ✓ Panel 5 GHz Interline 19/5x - jedná se o směrovou anténu vhodnou jak do vnitřních, tak do venkovních prostor. Pracuje v horizontální i vertikální polarizaci.

Specifikace antény dle [9] :

Pásmo : 5,25 – 5,9 GHz

Gain (zisk) : 19 dBi

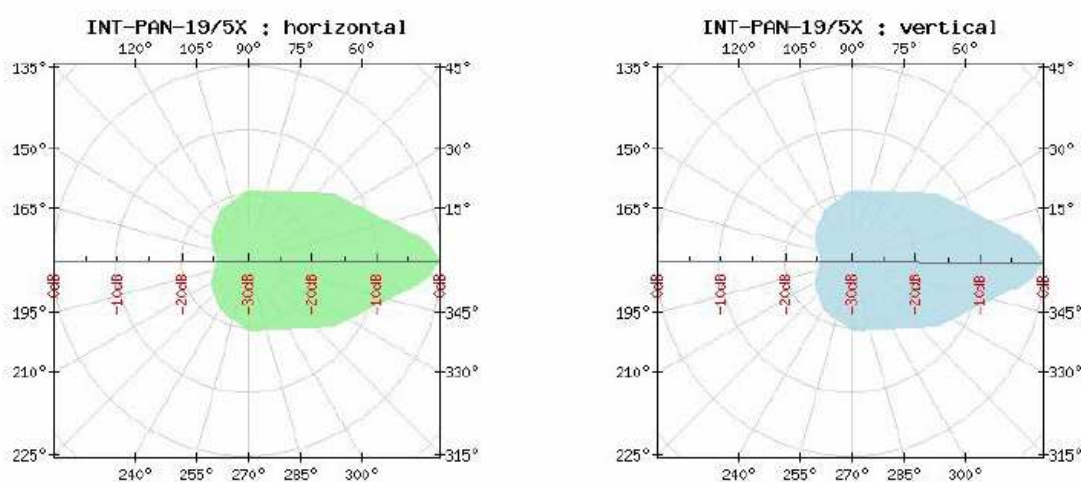
Polarizace : horizontální i vertikální

Vyzařovací úhly : horizontální 16° a vertikální 16°

Impedance : 50 ohmů



**Obr.16 Anténa Panel 5 GHz Interline 19 dBi [9]**



**Obr.17 Vyzařovací charakteristiky [9]**

#### 4.3.2 Osobní počítač

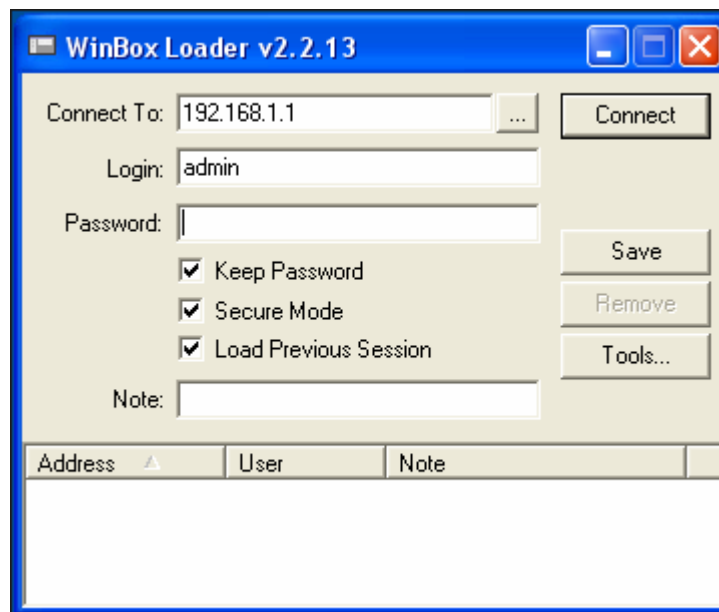
Jedná se o řídicí a měřicí část celého systému založenou na platformě Windows. Nejvhodnější pro mé měření byl, díky jeho mobilitě a vlastnímu napájení (baterii), notebook. Jedinou podmínkou kladenou na tento počítač je integrovaná síťová karta.

#### 4.4 Software

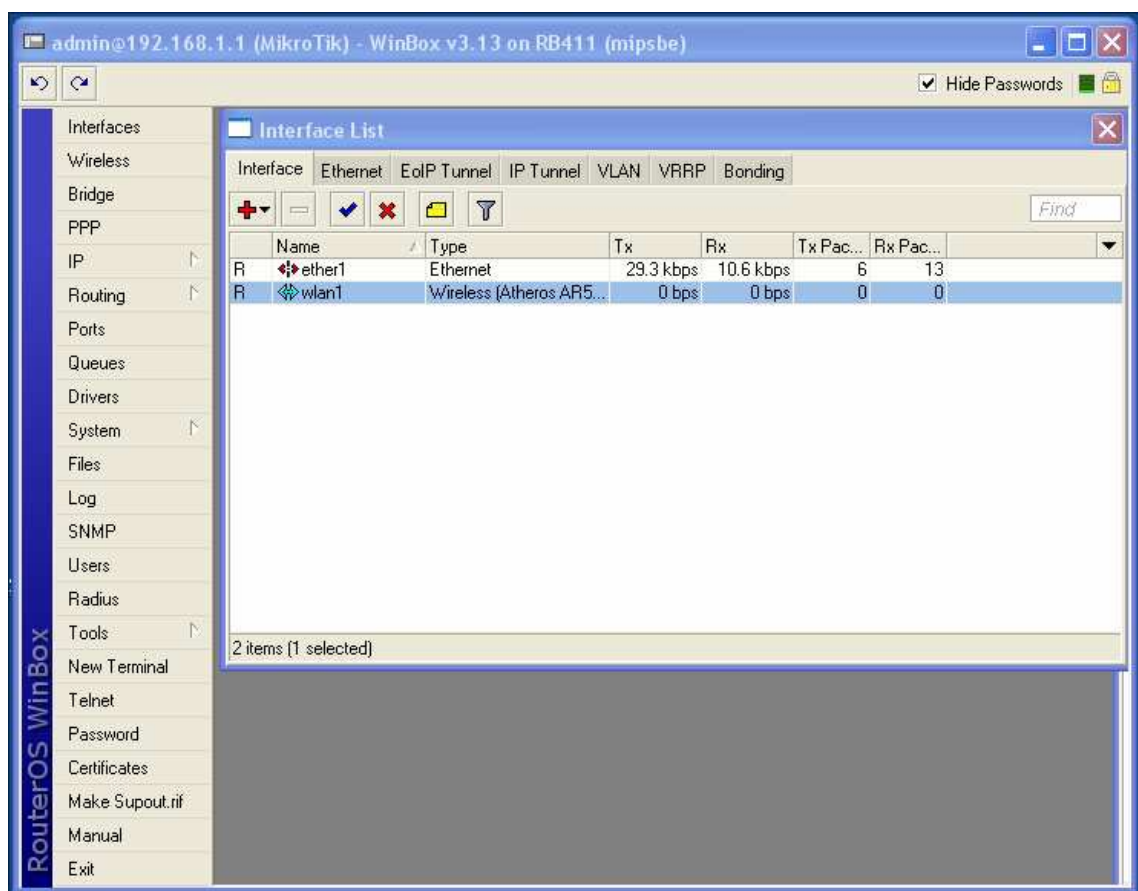
Vzhledem k tomu jaký typ routeru jsem si vybral pro měření v mé diplomové práci, bylo nutné si k němu na stránkách výrobce stáhnout potřebné softwarové vybavení. Většina dostupných routerů na trhu se nastavuje přes webové rozhraní a mimo nastavování už neumožňuje takovou analýzu provozu, jako mnou zvolený router. Software, který bude využíván se jmenuje *WinBox*. Bude popsán v samotné kapitole. Ovšem pro vlastní inicializaci routeru bylo nezbytné propojení přes sériovou linku, kde pomocí terminálu došlo k prvnímu nezbytnému konfigurování routeru. Jednalo se o provedení resetu a dále prvotního nastavení IP adresy, kdy bez tohoto úvodního nastavení by nebylo možné připojení *WinBoxem*. Je třeba dodat, že programování a nastavování routeru je možné i přes terminál. Výrobce má velice pěkně propracované nastavování, které je velmi podobné konkurenčnímu hardwaru firmy Cisco.

##### 4.4.1 WinBox

*WinBox* je software určený pro řízení a konfiguraci zařízení RouterBoard firmy MikroTik. Je to software, který není nutné instalovat a může být spouštěn například i z flashdisku. Pomocí tohoto softwaru je možné se k RouterBoardu připojit z jakéhokoliv počítače. *WinBox* mimo možnosti nastavování opravdu velkého množství parametrů obsahuje i nástroje pro analýzu sítě a monitoringu velkého množství dat. Právě některé tyto data potřebuji analyzovat ve svém měření. Pro připojení *WinBoxem* k routeru je třeba znát IP adresu nastavenou v routeru po jeho inicializaci a také heslo, pokud bylo při nastavování zadáno. Na následujících obrázcích bude vidět přihlašovací okno a také samotný program *WinBox*.



Obr.18 Přihlašovací okno WinBox



Obr.19 Hlavní okno WinBox

## 5. Vlastní měření

Využitelnost Wi-Fi technologie v průmyslových provozech se dá ověřit jejím praktickým nasazením a poté analýzou jejího provozu. Samotné měření je stěžejní a nejdůležitější částí mé diplomové práce. Bylo důležité najít a připravit vhodný hardware, software a další technologie, avšak příprava vlastního měření byla stěžejní činností i při všech konzultacích s vedoucím diplomové práce. Jen na výsledcích vlastního měření je možné vyvodit konkrétní výsledky a doporučení vycházejících ze zadání mé práce. V následujících odstavcích bude představen koncept vlastního měření a dále seznámení s měřenými údaji, vysílacími výkony, měřenými prostory a nakonec i výsledky vlastního měření.



**Obr.20 Měřicí pracoviště**

## 5.1 Návrh měření

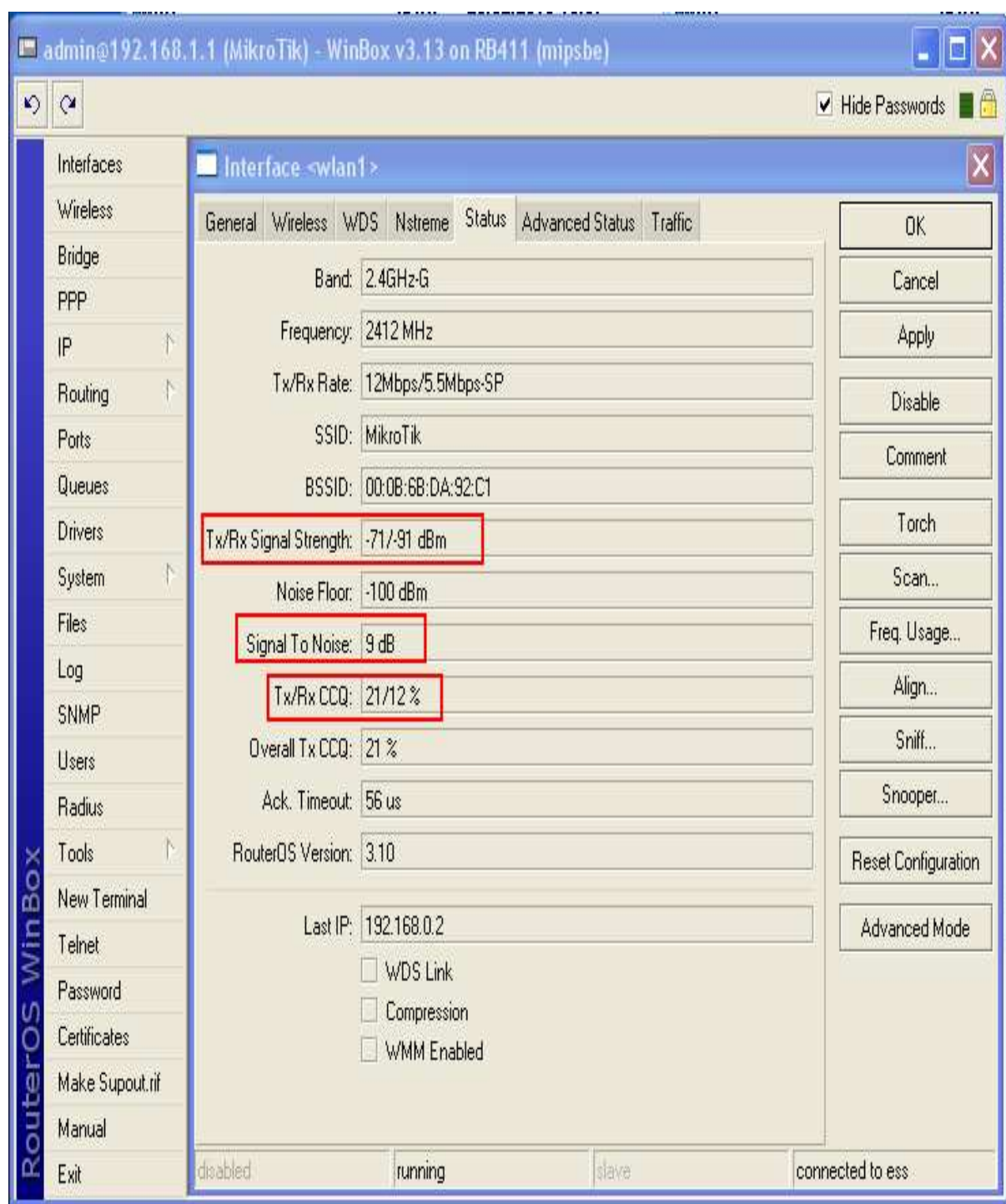
V rámci přípravy řešení diplomové práce bylo potřeba nejen navrhnout vhodný hardware a software, ale také navrhnout vhodnou metodiku a způsob měření v provozech hlubinných dolů.

Měření bylo provedeno v provozech hlubinných dolů a to konkrétně v provozu *odkamenění* a v provozu *vodní prádlo*. Provozy budou popsány v samostatné kapitole 5.4. Vlastní měření na pracovištích bylo provedeno dvakrát v rozmezí několika dnů. Měření se týkalo 1. a 2. vrstvy modelu OSI a provádělo se při datovém provozu, který byl vytvořen příkazem *ping* pomocí paketu o velikosti 1500 b a počet paketů v jednom měřícím cyklu byl 50. Vzdálenosti, na kterých měření proběhlo, se určovaly až na místě s ohledem na rozmístění technologie úpravy a vnitřním uspořádáním haly. Vlastní postup měření tedy vypadal takto:

- ✓ Měření na předem definovaných vzdálenostech 15 m, 25 m , 35 m.
- ✓ Spustit program *WinBox* , otevřít */interface\_wlan/status\_advanced mode*
- ✓ Příkazová řádka *ping 192.168.0.2 -l 1500 -n 50*
- ✓ *WinBox* sledovat a zaznamenávat parametry Signal Strength, SNR, CCQ
- ✓ Po dokončení *ping* zaznamenat průměrnou odezvu a ztrátovost
- ✓ Na jedné vzdálenosti opakovat měření 5x
- ✓ Celé měření opakovat pro všechny 3 typy antén
- ✓ Provést simulaci programem *Iprop*

## 5.2 Popis měřených hodnot

Celé měření je postaveno na těchto hodnotách : Zpoždění (ms), Ztrátovost (%), Signal Strength (dBm), CCQ (%). Hodnoty jsou snímány z následujících dialogových oken. Samotný popis hodnot a jejich význam je uveden na následující stránce.



**Obr.21 WinBox měřené údaje**

```

Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=11ms TTL=126
Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=11ms TTL=126
Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=41ms TTL=126
Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=21ms TTL=126
Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=13ms TTL=126
Odpověď od 192.168.0.2: bajty=1024 čas=13ms TTL=126

Statistika ping pro 192.168.0.2:
Pakety: Odeslané = 100, Přijaté = 100, Ztracené = 0 (ztráta 0%),
Přibližná doba do přijetí odezvy v milisekundách:
Minimum = 2ms, Maximum = 120ms, Průměr = 11ms

```

Obr.22 Ping měřené údaje

- ✓ Zpoždění - čím vyšší je zpoždění, tím déle je třeba čekat na odezvu, přičemž vysoká doba odezvy některé aplikace prakticky zcela znemožňuje. Typickým příkladem jsou online hry, které jsou použitelné zhruba do zpoždění 100 ms. Další oblast je VoIP telefonie, která je použitelná zhruba do zpoždění 250 ms, při zpoždění nad 500 ms se již obtížně komunikuje a při zpoždění 700 ms je už dialog prakticky nemožný.
- ✓ Ztrátovost je poměr paketů ztracených při přenosu k paketům přenesených za konkrétní časový úsek. Velká ztrátovost zatěžuje celý přenosový systém, protože se musí ztracené pakety znovu posílat.
- ✓ Signal To Noise SNR - důležitý parametr je hodnota SNR (odstup signálu od šumu). Pro použitelné spojení by měla být tato hodnota vyšší než 15 dB. Pokud hodnota SNR kolísá, je pásmo v místě příjmu pravděpodobně zarušeno.
- ✓ Tx/Rx Signal Strength je označení pro jednotku určující kvalitu signálu pro bezdrátová zařízení nejčastěji postavených na technologii Wi-Fi. Absolutní hodnota z kvality signálu v dB je - 96 dB.
- ✓ CCQ je parametr, který ukazuje efektivní využití šířky pásma k jeho teoretickému maximu. Snížením přenosové rychlosti je možné zvýšit kvalitu přenosu. Jestliže je například CCQ na 50% při přenosové rychlosti 18 mbps, tak se dá snížením přenosové rychlosti na 9 mbps zvýšit CCQ na 100%.

### 5.3 Teoretický výpočet měřicí sítě

Pro stanovení teoretické použitelnosti zařízení před jeho praktickým nasazením v provozu je vhodné provést teoretické výpočty trasy.

Kvalitu plánovaného spoje ovlivňují:

- ✓ Efektivní vysílací výkon - jedná se o součet vysílacího výkonu a zisku antény, od kterých se odečte útlum kabelů a konektorů
- ✓ Ztráta při přenosu - jde o ztráty na signálu ve volném prostředí a vlivem zásahu do První Fresnelovy zóny.
- ✓ Efektivní citlivost přijímače - jde o součet zisku antény a citlivosti přijímače s odečtením ztrát na kabelu a konektorech.

Vzorec, podle kterého se bude posuzovat použitelnost měřicí sítě je [3]:

$$Pr = Pt - Lp + Gt + Gr - Lt - Lr [dBm]$$

$P_t$  = vysílací výkon (dBm)

$L_p$  = ztráty signálu při přenosu (dB)

$G_t$  = zisk antény vysílače (dBi)

$G_r$  = zisk antény přijímače (dBi)

$L_t$  = útlum mezi vysílačem a anténou – kabel + konektory (dB)

$L_r$  = útlum mezi přijímačem a anténou – kabel + konektory (dB)

Výsledek  $Pr$  je požadovaná citlivost přijímače v dBm. Citlivost přijímače je pro různé standardy a frekvence jiná a je uváděna v dokumentaci k příslušnému hardwaru. Porovnáním vypočtené citlivosti s citlivostí uvedenou v dokumentaci je možné stanovit, na jakých rychlostech a zda-li vůbec bude komunikace v měřicí síti možná.

Velmi důležitým faktorem ve všech nastaveních routerů je dodržení maximálních předepsaných vysílacích výkonů stanovených v Generální licenci ČTÚ



12/R/2000. Tato licence předepisuje maximální vyzářený výkon EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) pro pásmo 2,4 GHz a pásmo 5 GHz. V následující tabulce jsou tyto maximální výkony uvedeny [10]:

Ozn.	Kmitočtové pásmo	Vyzářený výkon	Další podmínky
<i>a</i>	2400,0–2483,5 MHz	100 mW e.i.r.p.	
<i>b</i>	5150–5250 MHz	200 mW střední e.i.r.p.	pouze pro použití uvnitř budovy
<i>c</i>	5250–5350 MHz	200 mW střední e.i.r.p.	pouze pro použití uvnitř budovy
<i>d</i>	5470–5725 MHz	1 W střední e.i.r.p.	maximální střední spektrální hustota e.i.r.p. je 50 mW/MHz v libovolném 1 MHz úseku

**Obr.23 Maximální vysílací výkony dle ČTÚ [10]**

Celkový vyzářený výkon routerem nesmí být tedy vyšší než je maximální povolený vyzářený výkon. Proto je třeba při nastavování vysílacího výkonu v routeru zohlednit zisk antény a útlum spojovacích částí (kabel, konektory). Vzhledem k tomu, že povolené výkony jsou uvedeny v mW, je vhodné převést po výpočtu výsledek na jednotky dBm. Vzorec pro převod výkonu z mW na dBm je tedy [3]:

$$dBm = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{0,001}$$

Poslední údaj, který je třeba dopočítat před provedením finálního výpočtu, je hodnota  $L_p$ , která označuje *ztráty ve volném prostoru*. Tyto ztráty se počítají pro každé frekvenční pásmo zvlášť. Výpočet se provádí dle následujícího vzorce [3]:

$$L_p = 92,45 + 20 \cdot \log_{10} F + 20 \log_{10} d [dB]$$

$L_p$  = ztráta ve volném prostoru (dB)

$F$  = frekvence (GHz)

$D$  = vzdálenost (km)

Pro mé vzorce jsem do výpočtu dosazoval vzdálenost 0,1 km, protože veškerá má měření se prováděla do maximální vzdálenosti 35 metrů. Výsledek výpočtů musel být záporný. Pokud by byl kladný, tak by znamenal zisk.

Vlastní výpočet  $L_p$  pro pásmo 2,4 GHz:

$$L_p = 92,45 + 20 \cdot \log_{10} F + 20 \cdot \log_{10} d [dB]$$

$$L_p = 92,45 + 20 \cdot \log_{10} 2,4 + 20 \cdot \log_{10} 0,1$$

$$L_p = -80,42dB$$

Vlastní výpočet  $L_p$  pro pásmo 5 GHz:

$$L_p = 92,45 + 20 \cdot \log_{10} F + 20 \cdot \log_{10} d [dB]$$

$$L_p = 92,45 + 20 \cdot \log_{10} 5 + 20 \cdot \log_{10} 0,1$$

$$L_p = -86,42dB$$

Výchozí hodnoty:

Kabel Beden RG 58 s útlumem -1,8 dB

Konektory RSMA a N s útlumem -0,62 dB

Útlum prostředí do 100 m pro 2,4 GHz -80,42 dB

Útlum prostředí do 100 m pro 5 GHz -86,42 dB

Zisk antény směrová 2,4 GHz 16 dBi

Zisk antény směrová 5 GHz 16 dBi

Zisk antény všesměrová 2,4 GHz 8 dBi

Maximálně nastavitelný výkon vysílače 19 dBm / 79 mW

Receive Sensitivity: **802.11a**  
-88dB@6Mbps, -87dB@9Mbps, -85@12Mbps,  
-83dB@18Mbps, -80dB@24Mbps, -75dB@36Mbps,  
-73dB@48Mbps, -71dB@54Mbps  
**802.11b**  
-95dB@1Mbps, -94dB@2Mbps, -92dB@5.5Mbps,  
-90dB@11Mbps  
**802.11g**  
-90dB@6Mbps, -89dB@9Mbps, -87@12Mbps,  
-85dB@18Mbps, -82dB@24Mbps, -79dB@36Mbps,  
-76dB@48Mbps, -74dB@54Mbps

**Obr.24 Citlivost karty WLAN 802.11a/b/g mini-PCI Module [6]**

Nyní již jsou k dispozici všechny údaje potřebné pro výpočet očekávané úrovně signálu. Takto vypočtená úroveň signálu se porovná s tabulkou na obr. 24 a z výsledku vyplyne použitelnost sítě a maximální dosažitelná přenosová rychlost. Vzhledem k limitům definovaných ČTÚ je nutné snížit vysílací výkon routeru na 14 dBm, což odpovídá výkonu 25 mW.

Pro všesměrovou anténu pásma 2,4 GHz a zisku 8dBi a vysílacího výkonu 14 dBm je dodržena hranice výkonu 20dBm a tedy celkový vyzářený výkon je 100mW.

Pro směrovou anténu pásma 2,4 GHz, u které je zisk 16 dBi, je nutné vysílací výkon snížit na hodnotu 6 dBm .

Pro směrovou anténu pásma 5 GHz se ziskem 19 dBi je ponechán vysílací výkon 6 dBm a tím je vysílací výkon 200 mW.

Vypočtené potřebné citlivosti přijímací karty:

✓ D-link ANT24-0800 2,4 GHz

$$Pr = 14 - 80,42 + 8 + 8 - 1,8 - 0,62$$

$$Pr = -52,84 \cong -53dBm$$

✓ Yagi XP 16dB 2,4 GHz

$$Pr = 6 - 80,42 + 16 + 16 - 1,8 - 0,62$$

$$Pr = -44,84 \cong -45dBm$$

✓ Panel 5 GHz Interline 19/5x

$$Pr = 6 - 86,42 + 19 + 19 - 1,8 - 0,62$$

$$Pr = -44,84 \cong -45dBm$$

Dle všech provedených výpočtů a porovnání citlivostí uvedených v tabulce na obrázku 24, je možné využít maximálních přenosových rychlostí. Samozřejmě se jedná o **teoretický výpočet**, který nezohledňuje vlastní prostorové uspořádání měřených prostor a v reálném provozu jsou tyto hodnoty **mnohem horší!**

#### 5.4 Popis měřených prostorů

Úkolem diplomové práce bylo provést měření na pracovišti hlubinných dolů. Vlastní měření tedy proběhlo na důlních provozech dolu Darkov. Důl Darkov je v současnosti největší hlubinný těžební komplex v České republice. Darkov má svou vlastní úpravnu s kapacitou 800 tun za hodinu. Důl zahrnuje tři samostatné dobývací prostory - Darkov, Karviná a Stonava. Součástí dolu Darkov jsou dva závody - Darkov a 9. květen [11].

Měření probíhalo na dvou pracovištích a to na pracovišti *vodní prádlo* a pracovišti *odkamenění*.

Provoz *vodní prádlo* je provoz, který se zabývá technologií úpravy uhlí. Ta využívá vodní lázeň. Uhlí se upravuje ve *vodních prádlech* tak, aby výsledný výrobek neobsahoval hlušinové části a obsah popele byl menší než 10%, což je důležité pro vlastnosti následného výrobku – koksu. Samotný provoz je situovaný jako železobetonová hala s pravidelně rozmístěnými ocelovými nosníky. V provozu se nachází technologie pro přečerpávání vody a nejsou tam mimo popis žádné výrazné překážky. Čerpadla jsou poháněna elektrickými motory, od kterých se nepředpokládá rušení měřicí sítě. Rozměry haly jsou 40x 36 metrů a výška haly je 10 metrů. Popisy prostorů a jejich fotografie jsou uvedeny na obrázku 25 a obrázku 27.

Provoz *odkamenění* je provoz, kde dochází k vytrídění hrubozrnné hlušiny z vytěženého uhlí. Provoz je opět situován v uzavřené železobetonové hale, kde je velké množství ocelových příček a nosníků. V provozu se mimo velmi těžkého strojního vybavení využívá v samotné technologii také voda. V porovnání s předchozím prostorem se zde nachází velké množství prostorových překážek, které mají vliv na samotný přenos dat. Od elektromotorů nepředpokládám rušení měřicí sítě. Rozměry haly jsou 35 x 25 metrů. Výška je zde 20 metrů. Popisy prostorů jsou na obrázcích 26 a 28. Předpoklad že zde budou horší podmínky pro přenos signálu se (jak bude patrné v následujících kapitolách) potvrdil.

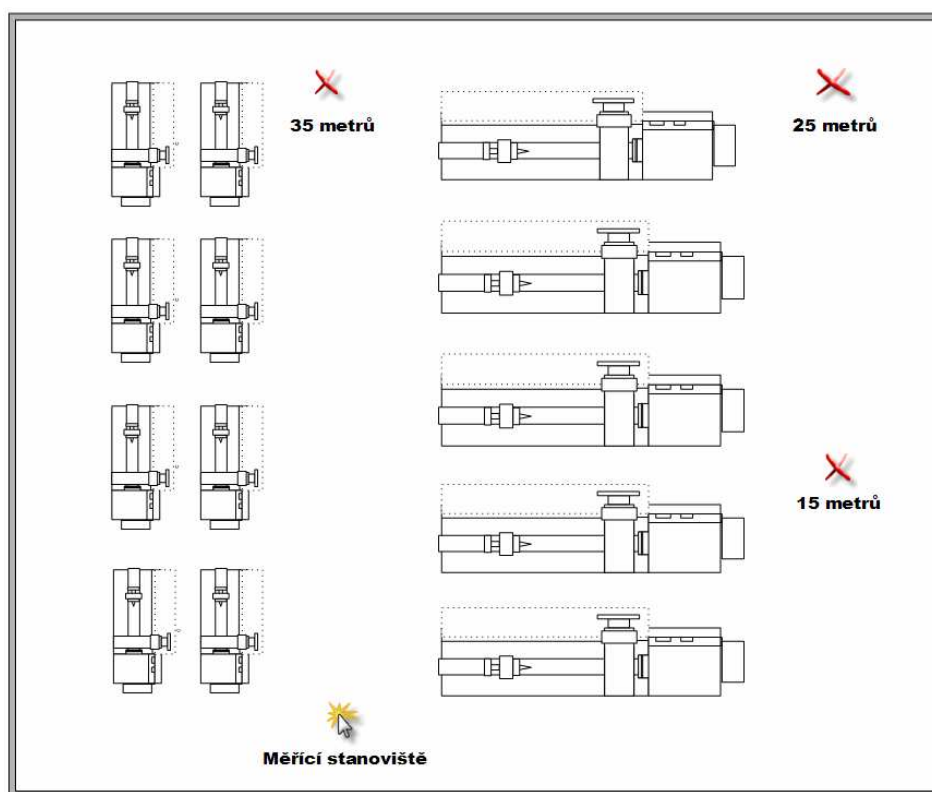
Měřené prostory byly jedny z nejtěžších v úpravkách dolu Darkov a díky nim bylo měření velice zajímavé.



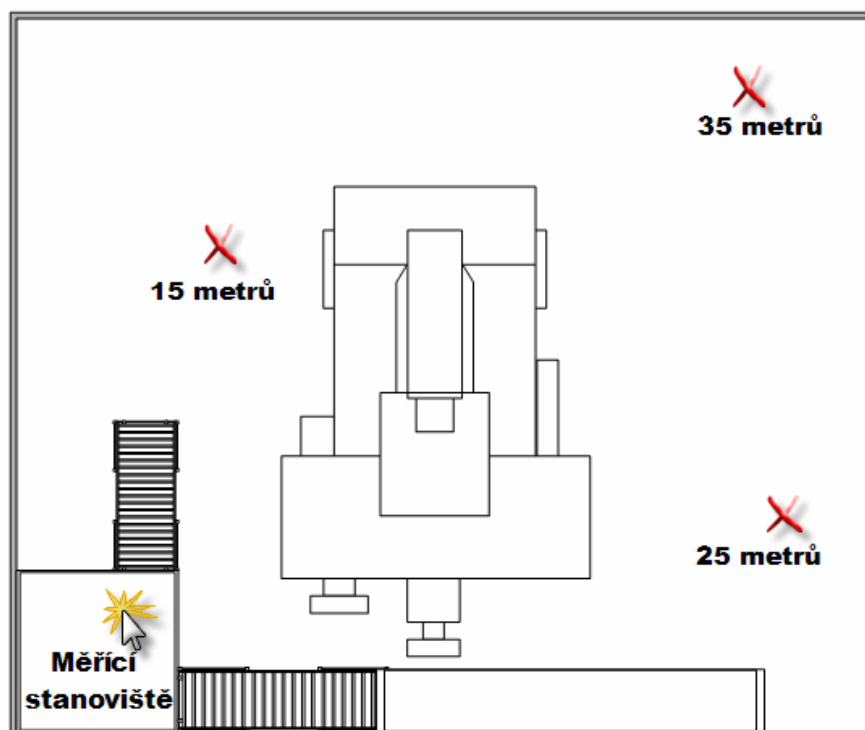
**Obr.25 Provoz vodní prádlo**



**Obr.26 Provoz odkamenění**



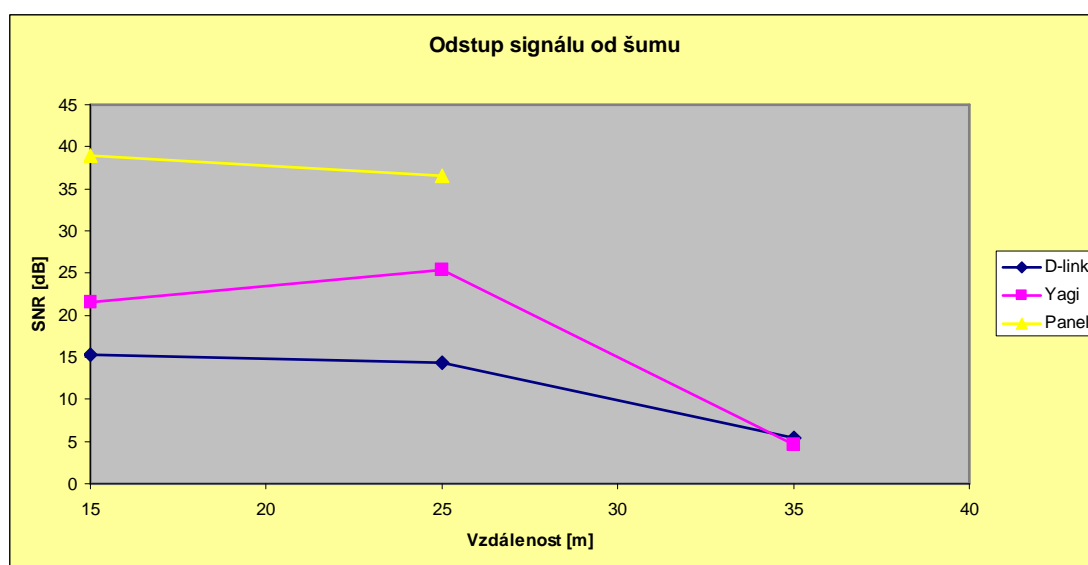
Obr.27 Nákres - provoz vodní prádlo



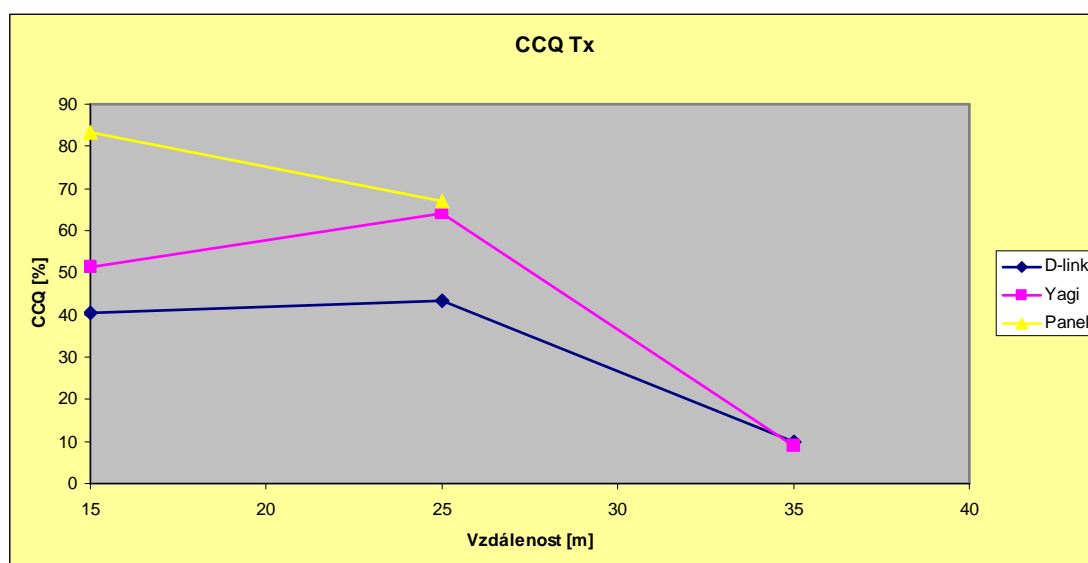
Obr.28 Nákres - provoz odkamenění

## 5.6 Naměřené hodnoty

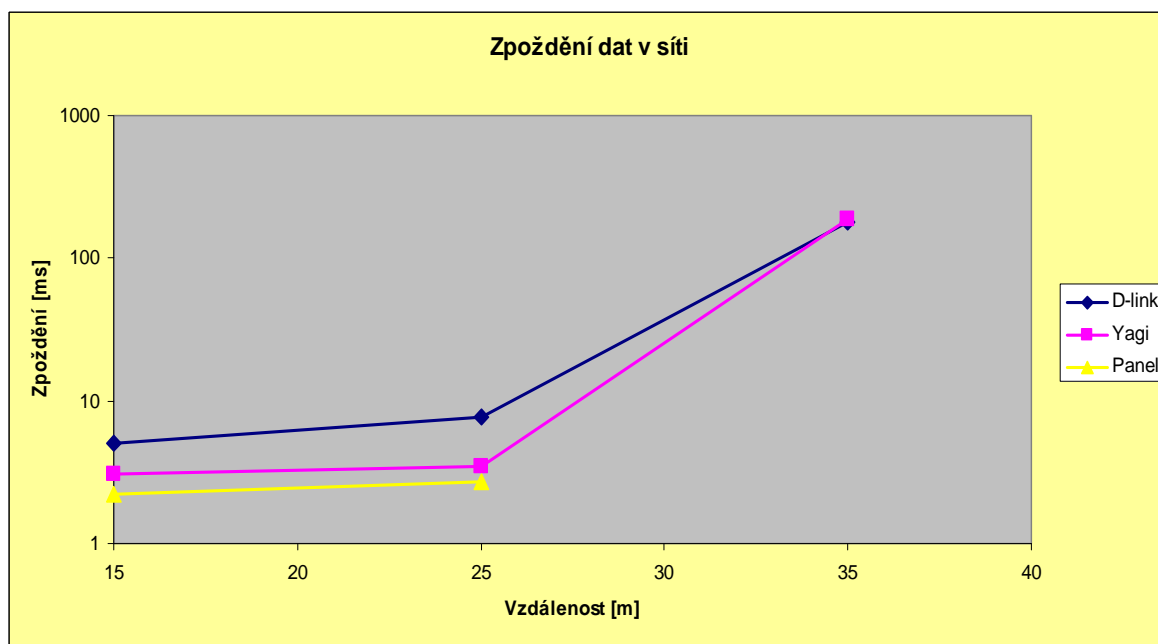
V následující kapitole jsou uvedeny jen některé měřené hodnoty, které jsou prezentovány formou grafů. Data uvedená ve všech grafech této diplomové práce jsou spočítané průměry z obou dvou měřících dnů. Kompletní tabulky naměřených hodnot jsou součástí příloh. Naměřeným hodnotám a grafům bude ještě věnována část kapitole 7. Parametr CCQ, který je uveden v jednom z grafů, je měřen při přenosové rychlosti 36 mbps.



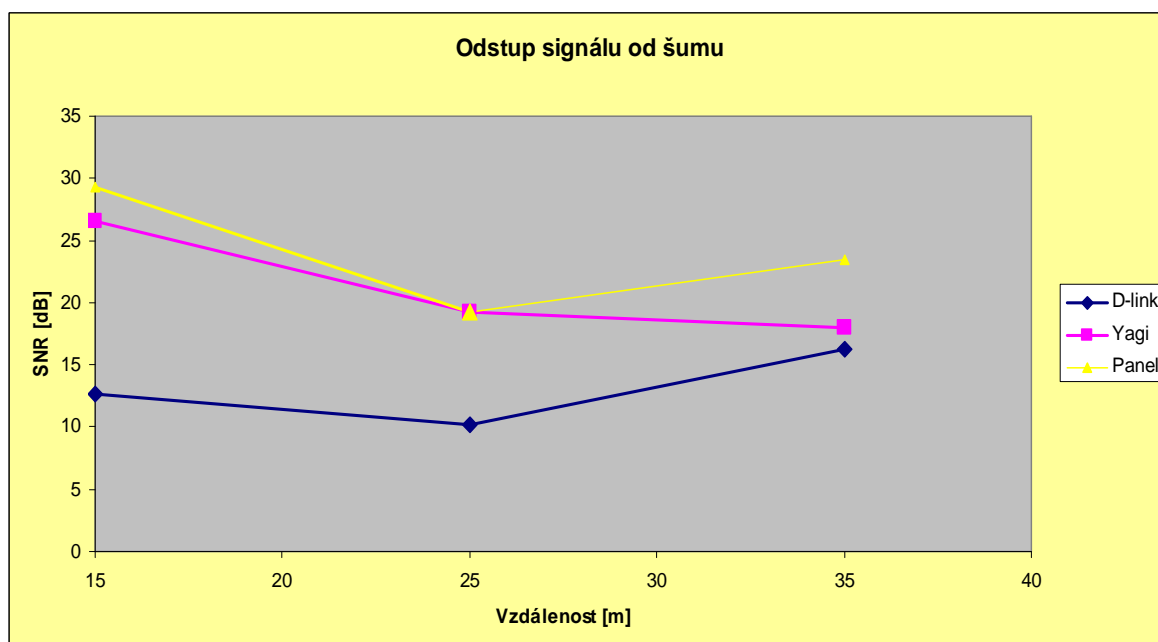
Obr.29 Graf- SNR odkamenění



Obr.30 Graf- CCQ Tx odkamenění

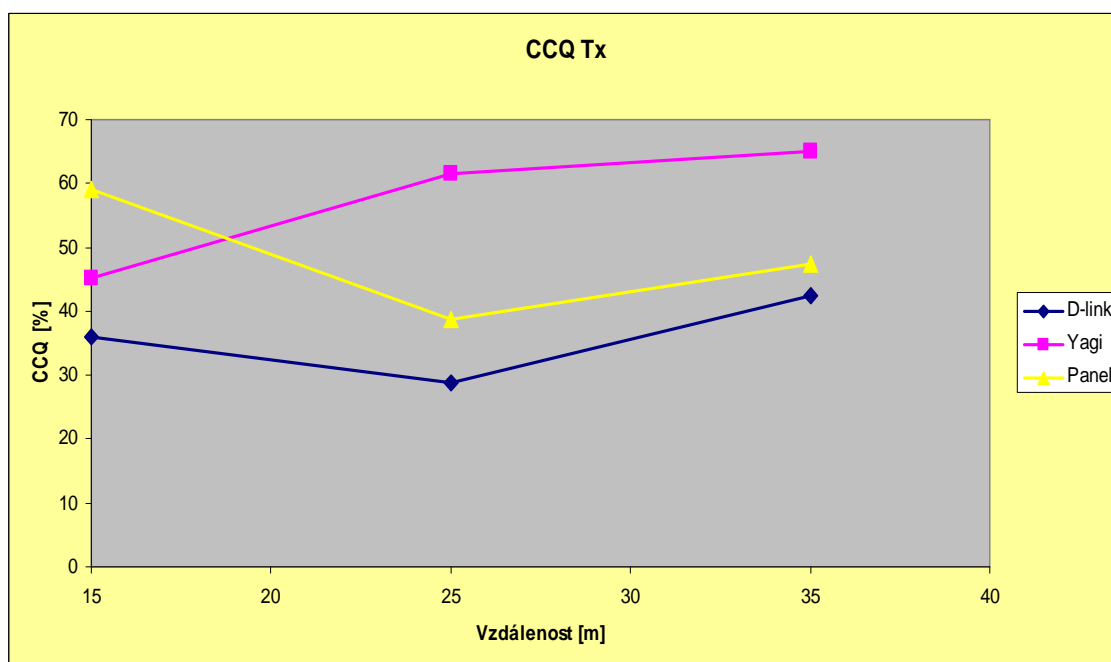


**Obr.31 Graf- Zpoždění odkamenění**

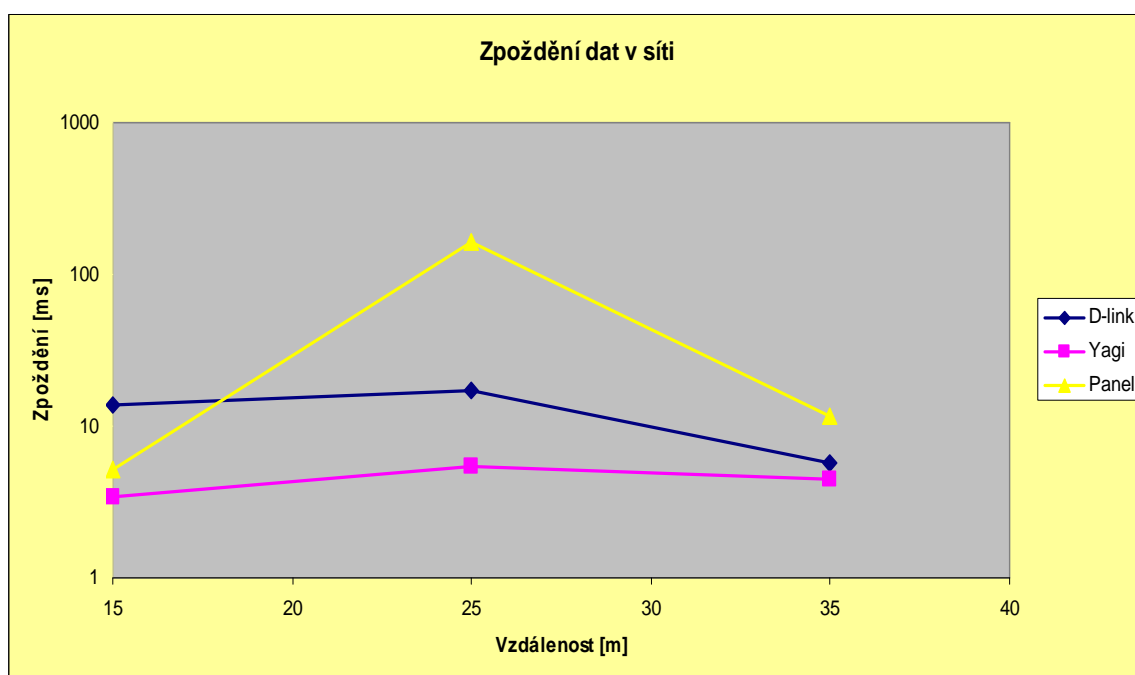


**Obr.32 Graf - SNR vodní prádlo**





Obr.33 Graf – CCQ Tx *vodní prádlo*



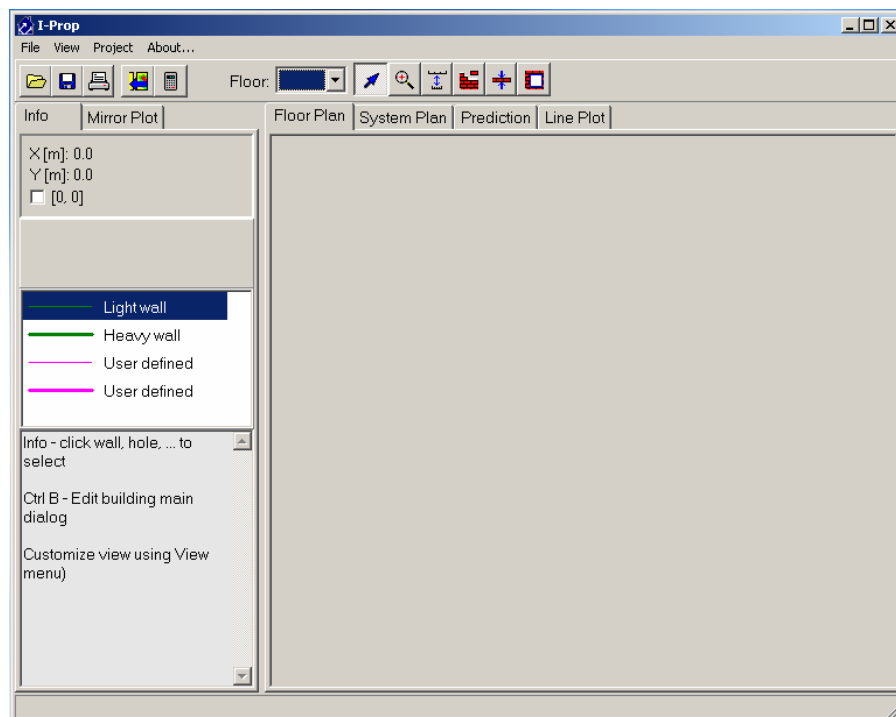
Obr.34 Graf - Zpoždění *vodní prádlo*

## 6. Simulace

Simulace je zajímavým doplňkem vlastního měření. Ukazuje totiž teoretické šíření signálu a jeho sílu v závislosti na překážkách a vzdálenostech. Nicméně se opět jedná jen o **teoretický výpočet**, který je v reálném prostředí **prakticky nedosažitelný**. Simulaci jsem prováděl pouze pro pásmo 2,4 GHz a pouze pro směrovou anténu. Použitý program totiž simulaci na vyšších frekvencích neumožňuje. Jako podklady pro simulaci sloužily nákresy vytvořené programem *AutoCad* v měřítku 1:1.

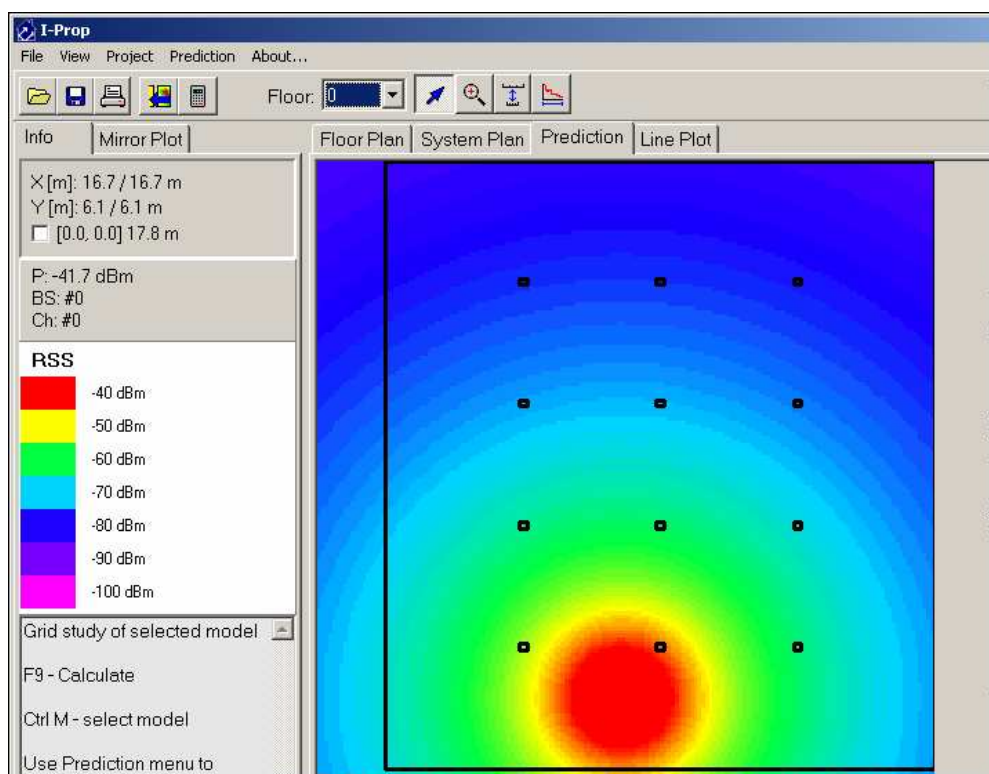
### 6.1 Popis programu

Simulace se prováděla pomocí programu *Iprop*. Iprop je softwarový nástroj pro interaktivní plánování 3D pikobuňkových bezdrátových systémů uvnitř vícepodlažních objektů. Jeho součástí jsou modely šíření elektromagnetické vlny (signálu) uvnitř budov, které umožňují provádět různé typy analýz pokrytí. Program byl vytvářen pro účely snadného a efektivního základního návrhu pikobuňkového systému jak pro uživatele znalého problematiky „indoor“ šíření, tak pro i uživatele, který se s touto problematikou více neseznámil [12].

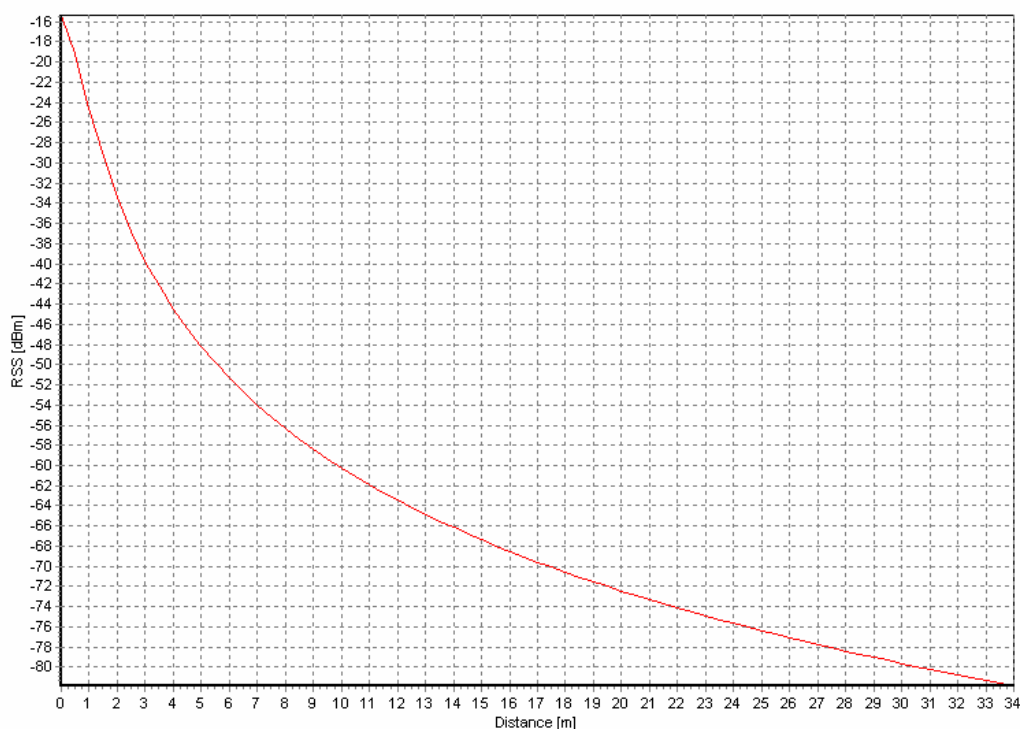


Obr.35 Program Iprop

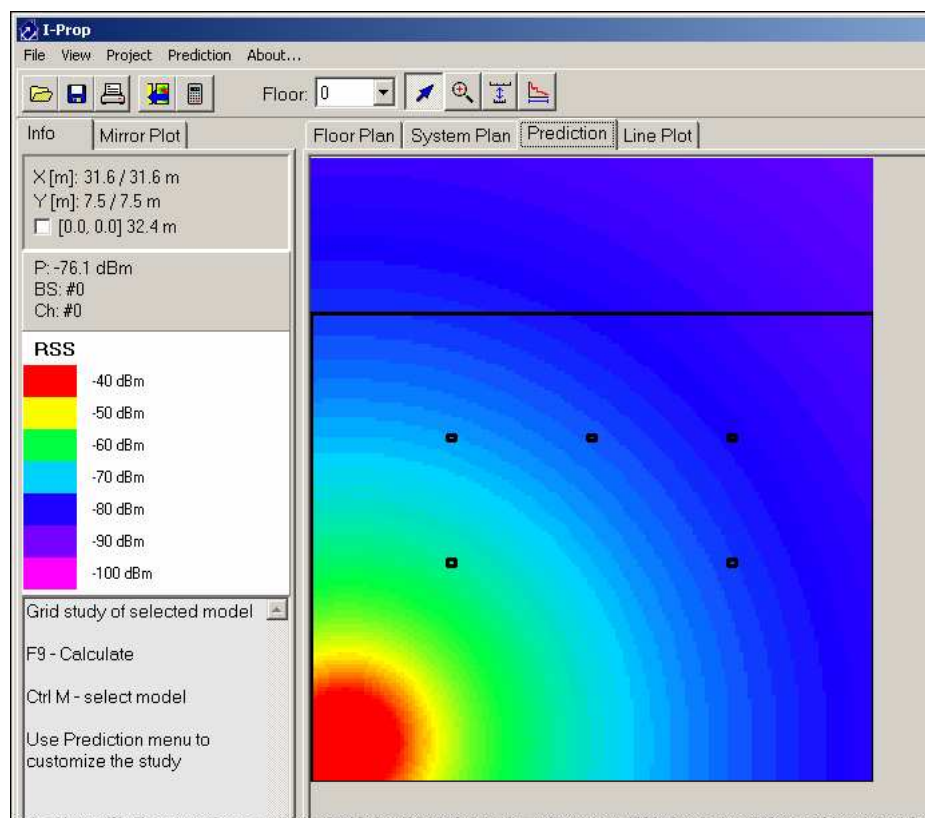
## 6.2 Vlastní simulace



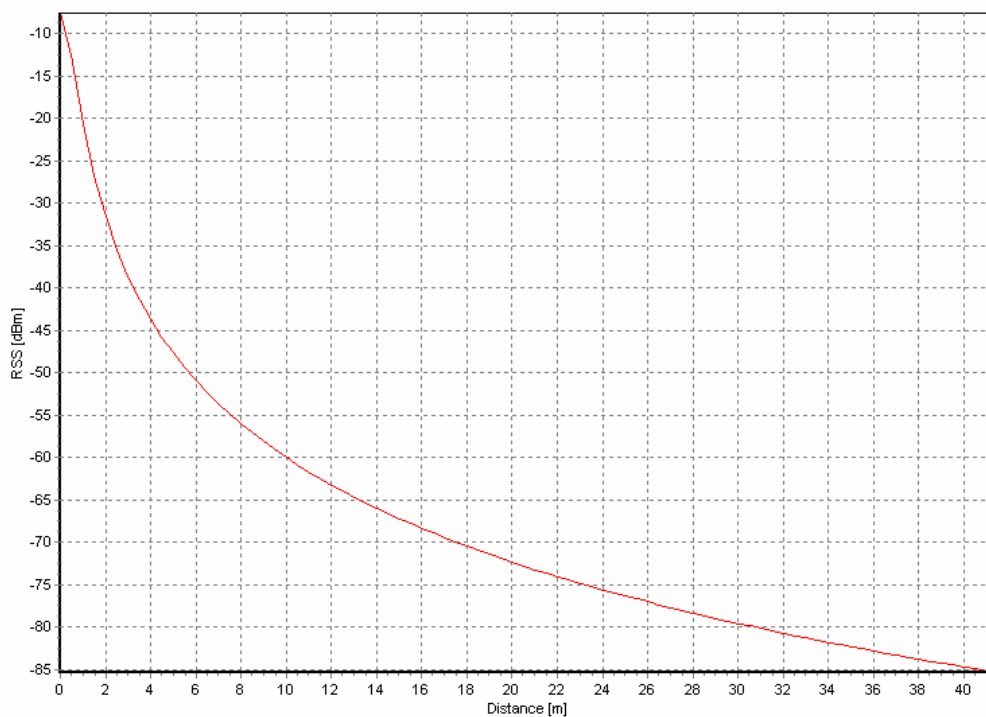
Obr.36 Výstup Iprop vodní prádlo



Obr.37 Graf Iprop vodní prádlo



**Obr.38 Výstup Iprop odkamenění**



**Obr.39 Graf Iprop odkamenění**

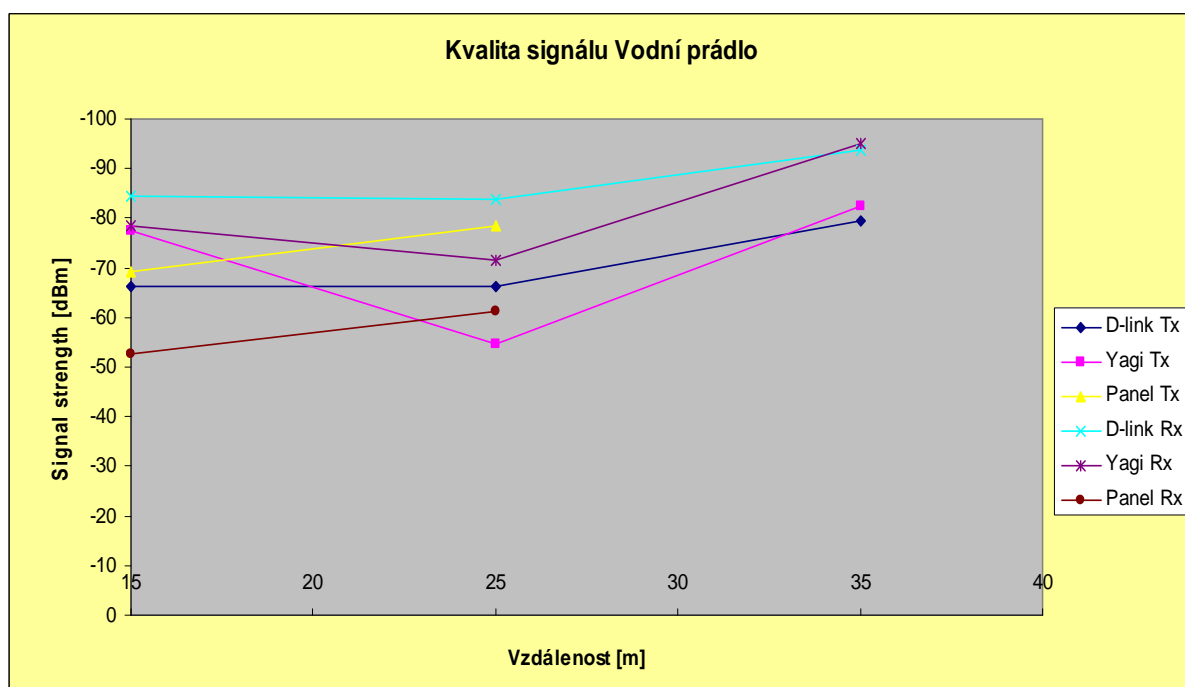
## 7. Závěr

V této části diplomové práce bylo nutné posoudit, zda-li bylo dosaženo cílů definovaných v zadání. Měření proběhlo na popsaném hardwaru a stanovených provozech a pro obě využívaná pásma 2,4 GHz a 5 GHz. Některé grafy už byly uvedeny v předchozích kapitolách a dále budou prezentovány grafy, na kterých bude demonstrována využitelnost této technologie v praxi. V závěru bude shrnutí a doporučení pro praktické nasazení Wi-Fi v důlních povrchových provozech. Určitě by bylo v budoucnu zajímavé ověřit tuto technologii i v podzemních částech důlních provozů. Takové měření bude ale vyžadovat daleko náročnější požadavky na hardware, vzhledem k výbušnému prostředí.

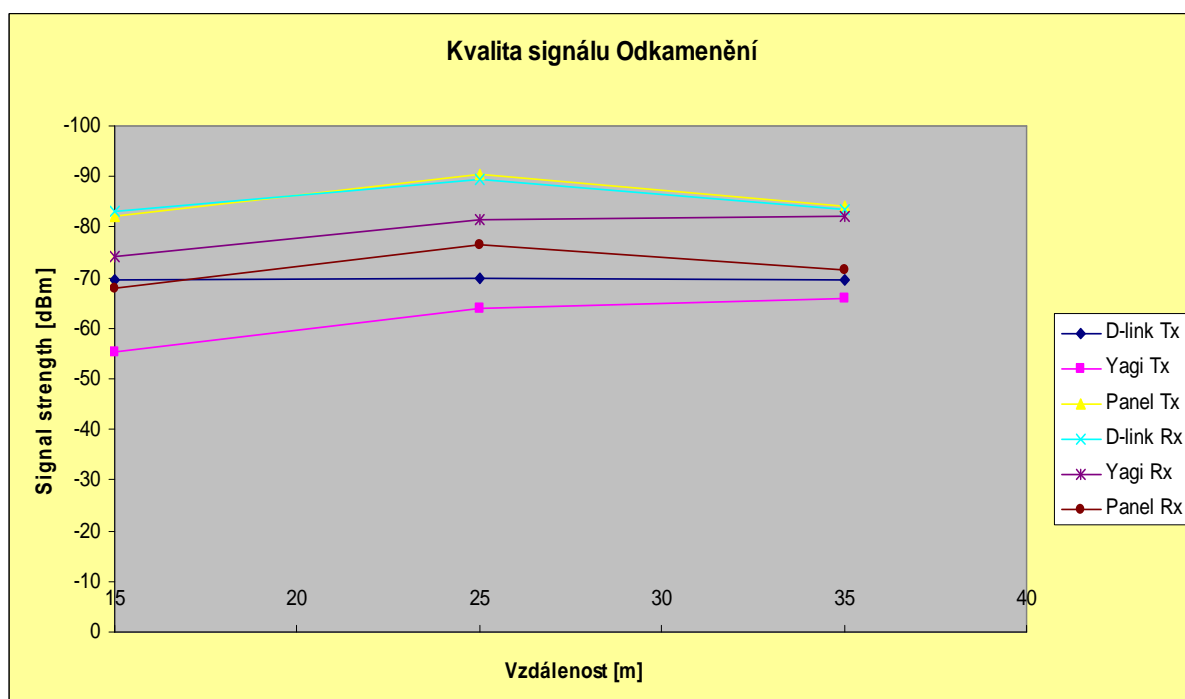
Měření v pásmu 2,4 GHz proběhlo na dvou typech antén. Měření probíhalo na maximálním povoleném výkonu pro pásmo 2,4 GHz a to 100 mW což je 20 dBm. Zisk použitých antén nebyl stejný a bylo nutné provádět změny vysílacích výkonů, aby nedošlo k porušení limitů definovaných ČTÚ. Měření v pásmu 5 GHz proběhlo pouze na jednom typu antény. Pro pásmo 5 GHz je limit 200 mW, což odpovídá 23 dBm. Takže i tady musel být nastaven vysílací výkon na takovou úroveň, aby nedošlo k porušení limitů ČTU.

Mimo nastavení výstupního výkonu bylo nutné pro měření parametru CCQ nastavit také přenosovou rychlost, která byla na hodnotě 36 mbps. Od této rychlosti se potom dá z grafu vyhodnotit, kdy by bylo pro kvalitu přenosu lepší využít nižších přenosových rychlostí. Pro parametr zpoždění a ztrátovost nebylo nutné nastavovat router a bylo potřeba jen dodržet předepsaný počet *pingů*. Taktéž parametr SNR nevyžadoval žádné speciální nastavení v průběhu měření a stejně i parametr *signal strength*.

V následujících grafech budou uvedena naměřená data a na nich bude rozebrána konkrétní využitelnost technologie. Část grafů už byla uvedena v kapitole 5.6 a nebudu je znovu uvádět, jen se v textu budu na tyto grafy odkazovat.



**Obr.40 Graf kvalita signálu pro provoz vodní prádlo**



**Obr.41 Graf kvalita signálu pro provoz odkamenění**

Jak je vidět na uvedených grafech, i na těch v kapitole 5.6, vykazuje provoz *odkamenění* daleko horší provozní data než provoz vodní prádlo. Je to především dáno větším zarušením díky technologickým a konstrukčním celkům. Pásmo 2,4 GHz na obou typech antén bylo schopné v tomto provozu fungovat na všech vzdálenostech. Ale pásmo 5 GHz bylo na nepřímé viditelnosti nepoužitelné. I když na přímých viditelnostech se chovalo poněkud lépe než pásmo 2,4 GHz, je jeho využitelnost nízká. V provozu vodního prádla pásmo 5 GHz vykazovalo obdobné charakteristiky, ale k rozpadu signálu zde nedošlo. Je to hlavně z toho důvodu, že tento provoz byl méně zarušen konstrukčními celky. Co se týká změřených dat v grafu na obrázku 31 a 34 v kapitole 5.6 je parametr zpoždění také v limitu pro přenos dat a opět je zde problém s pásmem 5 GHz v provozu *odkamenění*. Hodnoty zpoždění jsou v limitu pro využití této technologie. Na obrázcích 29 a 32 kapitola 5.6 je možné vidět chování sítě na parametru SNR. I zde je vše v limitech pro využití technologie v praxi, ale opět i na tomto parametru je vidět problematické chování pásma 5 GHz v provozu *odkamenění*. V posledním uvedeném grafu pro hodnotu CCQ na obrázcích 30 a 33 v kapitole 5.6 je vidět, že pokud by došlo k nastavení přenosové rychlosti na polovinu, tedy 18 mbps, bylo by u tohoto parametru dosaženo maximálních hodnot. Ovšem i zde je vidět již zmiňovaný problém pásma 5 GHz. Jediný graficky nezpracovaný údaj je ztrátovost. S tímto parametrem po dobu celého měření nebyl problém a až na jednu odchylku v řádech desetin procenta byl nulový.

Na výsledcích simulace uváděné v kapitole 6.2 je vidět, že technologie je v simulovaných prostorech použitelná. Bohužel se díky limitům programu prováděla simulace jen pro pásmo 2,4 GHz a ne pro pásmo 5 GHz. Jak bylo vidět na všech předchozích grafech, je pásmo 2,4 GHz bez větších problémů funkční. Pásmo 5 GHz mělo problémy a zde by bylo velmi zajímavé porovnat simulaci s reálným provozem. I přes tyto nedostatky programu *Iprop* je možné teoretické výsledky simulace provozním měřením částečně potvrdit. Samozřejmě na značně horších hodnotách.

### Zhodnocení využitelnosti technologií založených na standardu 802.11 Wi-Fi

Z výsledků měření, na kterých byla tato práce postavena vyplývá, že tato technologie je v důlních prostorech závodu Darkov použitelná s těmito doporučeními:

- ✓ *Standard 802.11a* je pro tyto provozy nevhodný a nedoporučuji jeho použití, i když v některých místech dosahoval lepších výsledků než technologie *802.11g*
- ✓ *Standard 802.11g* se ukázal jako vhodný a ve všech provozech se choval stabilně a dosahoval uspokojivých výsledků, proto tuto technologii doporučuji k možnému použití.
- ✓ *Antény* pro nasazení v provozu je možné využít obě, kdy všesměrová anténa s dostatečným ziskem je vhodnější než směrová, obzvláště při využití více strojů v provozu.

Díky masové výrobě komponentů pro Wi-Fi jsou tyto technologie cenově dostupné a díky montáži, která nevyžaduje velké zásahy v halách (kabeláž), jsou velice perspektivní. Při dodržení předepsaných výkonů a vzájemného se nerušení bezdrátových sítí je fungování v **nadzemních důlních provozech možné**.



## Použitá literatura

- [1] IEEE 802.11 In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2006, 2010 [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)>.
- [2] BLUNÁR, Karol; DIVIŠ, Zdeněk. *Telekomunikační sítě : díl 1*. I. vydání. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003. 619 s. ISBN 80-248-0391-7.
- [3] ZANDL, Patrick. *Bezdrátové sítě WiFi : Praktický průvodce*. 2006. Brno : Computer Press, 2006. 190 s. ISBN 80-7226-632-2.
- [4] ANT70-1400N.pdf [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-04-15]. Dostupné z WWW: <<ftp://ftp.dlink.eu/datasheets>>.
- [5] *Rb411ugA.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2010-04-15]. Dostupné z WWW: <[http://routerboard.com/pricelist/download\\_file.php?file\\_id=105](http://routerboard.com/pricelist/download_file.php?file_id=105)>.
- [6] *CM9-GP%20datasheet.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.unex.com.tw/sites/default/files/pdf/>>.
- [7] *ANT24-0800\_ds.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <<ftp://ftp10.dlink.com/pdfs/products/>>.
- [8] *Atcomp* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Směrová anténa Yagi XP 16dB +5m kabel RSMA. Dostupné z WWW: <<http://www.atcomp.cz/zbozi/smerova-antena-yagi-xp-16db-5m-kabel-rsma/detail.aspx?p=z:94491>>.
- [9] *Interline\_antennas\_catalogue\_en.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.interline.in.md/files/>>.
- [10] *\_vseobecne\_podminky\_ctu.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.mojewifi.net/upload.cs/1/>>.
- [11] *www.okd.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Důl Darkov. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/o-nas/kde-pusobi-okd/dul-darkov/>>.
- [12] *Iprop manual-cz.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.i-prop.cz>>.